La pensée sonore du corps : Pour une approche écologique à la médiation technologique, au mouvement et à l'interaction sonore

Andrea Giomi

▶ **To cite this version:**

Andrea Giomi. La pensée sonore du corps : Pour une approche écologique à la médiation technologique, au mouvement et à l'interaction sonore. Musique, musicologie et arts de la scène. COMUE Université Côte d'Azur (2015 - 2019); Università degli studi (Bologne, Italie), 2017. Français. NNT : 2017AZUR2041 . tel-01723356

HAL Id: tel-01723356
https://theses.hal.science/tel-01723356

Submitted on 5 Mar 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Ecole doctorale « Sociétés, Humanités, Arts et Lettres »
Unités de recherche : Centre Transdisciplinaire d'Épistémologie de la Littérature et des Arts Vivants (CTEL), Centre National de Création Musicale de Nice (CIRM)

Thèse de doctorat

En cotutelle internationale
Présentée en vue de l'obtention du grade de
docteur en Arts Vivants, mention Musique, de Université Côte d'Azur
et
de docteur en Arti Visuali, Performative e Mediali de Université Alma Mater Bologna
par

Andrea GIOMI

LA PENSÉE SONORE DU CORPS

POUR UNE APPROCHE ÉCOLOGIQUE À LA MÉDIATION TECHNOLOGIQUE, AU MOUVEMENT ET À L'INTERACTION SONORE.

Dirigée par Jean-François TRUBERT et Enrico PITOZZI

Soutenue le 08/12/2017

Devant le jury composé de :

Anna Rita ADDESSI, Professore associato, Università Alma Mater Bologna, *Examinatrice*
Susanne FRANCO, Ricercatrice abilitata, Università Ca' Foscari Venezia, *Examinatrice*
Martin LALIBERTÉ, Professeur, Université Paris-Est Marne-la-Vallée, *Examinateur*
Enrico PITOZZI, Ricercatore, Università Alma Mater Bologna, *Co-directeur de thèse*
Anne SÈDES, Professeure, Université Paris 8 Vincennes-Saint Denis, *Pré-rapporteur et examinatrice*
Jean-François TRUBERT, Professeur, Université Côte d'Azur, *Directeur de thèse*

À Emanuela et à ma famille

Remerciements

Je tiens tout particulièrement à exprimer ma profonde gratitude et reconnaissance à mon directeur de thèse Jean-François Trubert et à mon co-directeur Enrico Pitozzi pour leur soutien et leur précieux accompagnement durant les différentes étapes de cette recherche. Leurs encouragements et leurs retours ont été indispensables pour mener ce travail jusqu'au but.

Je souhaite remercier Federica Fratagnoli pour la démarche que nous avons partagée pendant les deux dernières années et sans laquelle les expériences en analyse du mouvement n'auraient jamais eu lieu.

Mes remerciements vont également à Cyril Délécraz, à Julie Mansion-Vaquié, à Baptiste Bacot, à Alice Godfroy et à Gaël Navard pour leurs nombreux conseils ainsi que pour leur soutien pendant ces derniers mois.

Je tiens à remercier aussi le laboratoire CTEL et, en particulier, touts les membres (enseignants-chercheurs et doctorants) de l'équipe Danse dont les séminaires m'ont permit d'approfondir, pendant ces trois années de doctorat, le lien entre théorie et pratique dans le contexte de la recherche en arts vivants.

Je remercie le CIRM pour l'attention portée à mon travail ainsi que pour m'avoir mis à disposition leurs studios et leurs compétences pendant les deux dernières années.

Je tiens enfin à remercier ma compagnie de théâtre Kokoschka Revival, le Hublot de Nice et le centre MACAO de Milan pour le soutien apporté à mon travail de recherche et de création artistique.

Resumé

Au cours des dernières années, l'avènement des technologies de captation du mouvement a radicalement transformé l'univers de la pratique artistique tout en ouvrant des perspectives inédites pour la recherche scientifique. La musique est actuellement l'un des domaines les plus impliqués dans ce renouvellement expressif et épistémologique. Dans ce cadre, les processus d'interaction entre médiation technologique, mouvement et son, semblent se décliner selon deux modalités majeures : d'une part, les technologies d'analyse du mouvement permettent d'étudier expérimentalement la connexion mutuelle entre phénomène acoustique et système sensori-moteur; de l'autre, la compréhension de la nature incarnée de l'expérience musicale oriente la conception et le développement de technologies interactives pour la performance vers un modèle plus holistique. En partant de ces prémisses, cette thèse porte sur la manière dont la transformation des aspects imperceptibles du mouvement en données perceptibles – sous forme de son – permet de prendre conscience des processus physiologiques et figuratifs qui sont à la base du geste. Dans ce contexte, la relation entre mouvement et *feedback* sonore est analysée selon une perspective écologique visant à mettre en lumière comment la médiation technologique induit un processus d'extension et d'intensification autopoïétique de l'anatomie corporelle. Notamment dans le cas de la pratique performative, l'interaction sonore offre alors au *performeur* la possibilité de redéfinir sa propre organisation perceptive sur la base d'un un nouveau répertoire des données sensorielles, lui permettant ainsi de repenser la composition expressive du mouvement.

Abstract

During the last years, motion sensing technologies have radically transformed the universe of the artistic practice. This dramatic change has recently inspired new perspectives in scientific research. Music is actually among the most affected domaines by this expressive and epistemological renewal. The interactive relation between mediation technology, movement and sound, seems to be declined into two main modalities : on one hand, movement analysis' technologies allow to study mutual connections between acoustic phenomenon and sensorimotor system, on the other hand, embodied understanding of musical experience can help to devise an holistic approach to interactive systems conception and development. Given this background scenario, this thesis focuses on how movement's qualities transformation into sound allows the performer to become aware of physiological and imaginative processes in gesture composition. In this framework, sound feedback-movement relation is analyzed from an ecological point of view. According to this approach, mediation technology seems to elicit an autopoietic process of extension and intensification of corporeality. Especially in the artistic performance, sound interaction offers to performer a new sensorial geography that allows him/her to renew his/her perceptive organization and thereby rethink expressive composition of movement.

Introduction 7

Première Partie

Ontologies

Chapitre 1

La virtualité du réel.
Des arts numériques à l'organisation perceptive du mouvement.

1.1 Aspirer à la condition du son ou de l'ontologie de l'immatériel 24
1.2 L'éphémère sonore et la tentation métaphysique de la musique.....29
1.2.1 Dévalorisation ontologique et épistémologique 29
1.2.2 Surévaluation métaphysique 30
1.3 L'immatérialité du virtuel.....33
1.3.1 Mythisation et mystification.....35
1.3.2 L'hyper-réel, l'inhumain et la médiation : trois préjugés sur le virtuel 38
1.4 La virtualité du réel 44
1.4.1 L'entrelacement de l'activité et de la passivité au sein de la sensation 45
1.4.2 La perception comme projet moteur.....47
1.4.3 La multimodalité de la perception 49
1.5 La corporéité et le virtuel 52
1.6.1 Le corps virtuel comme plan transcendental du mouvement.....55

Chapitre 2

De la notion de corps virtuel.
Déterritorialisation, extension et intensification.

2.1 Liveness : la question de la présence face aux technologies 62
2.1.1 Performance numérique et formes de médiation.....64
2.2 Trois formes de déterritorialisation du corps virtuel 66
2.2.1 Le double numérique ou la visualisation du virtuel.....67
2.2.2 De la désorganisation du corps au corps-prothétique 71
2.2.3 Le corps-environnement de la réalité virtuelle.....76
2.3 Corps actuel, corps subtil et corps de synthèse : le corps virtuel comme jeu de miroirs 81
2.3.1 Le feedback sensoriel comme extension et intensification du corps virtuel 86

Chapitre 3

Les strates de l'interface.
Medium, feedback et interaction.

3.1 De l'ontologie de l'interface 96
3.1.1 La variabilité comme paradigme constitutif de l'interface 96
3.1.2 Vers une définition écologique : l'interface comme environnement technologique 101
3.2 Caractéristiques du medium numérique 105
3.2.1 Représentation numérique 106
3.2.2 Modularité 108
3.2.3 Automation 110
3.2.4 Transmédialité 113
3.3 La notion d'interactivité 116
3.3.1 Le mythe de la transparence 117
3.4 Différents paradigmes d'interaction 120
3.4.1 Définition structurelle 121
3.4.2 Définition procédurelle 122
3.4.3 Définition fonctionnelle 124
3.4.4 Définition écologique 126

Deuxième Partie

Dispositifs

Chapitre 4
La captation du mouvement.
Modèles, systèmes et dispositifs pour l'analyse et le mapping.

4.1 La captation du mouvement 136
4.2. Différents systèmes de captation 138
4.2.1 Captation optique et motion tracking 141
4.2.2 Capteurs de mouvement embarqués et semi-embarqués 145
4.2.3 Capteurs environnementaux 149
4.2.4 Capteurs physiologiques 152
4.3 L'importance du mapping paramétrique dans la création d'interfaces pour l'interaction geste-son 157
4.3.1 Architecture, codage et stratégies de mapping 159
4.3.2 Problématique de l'expressivité du mapping 161
4.4 Hiérarchisation des niveaux de mapping 162

4.4.1 Mapping basé sur l'analyse expressive de haut niveau et sur la poursuite du geste.....165
4.8.2 Co-articulation entre geste et son comme principe du mapping adaptatif 167
4.5 Typologies interactives : seuils de pertinence entre geste et son 169
4.5.1 Processus d'évaluation qualitatifs et quantitatifs 171
4.6 Modalités de mapping 174
4.6.1 Cohérence gestuelle et complémentarité multimodale 177

Chapitre 5
Sonoriser le mouvement et corporiser le son.
Déterritorialisation du corps sonore et cognition musicale incarnée.

5.1 Re-configurer le corps par le biais du son et repenser le son à partir du corps 183
5.2 De la déterritorialisation du corps sonore.....184
5.2.1 Hyperinstruments 188
5.2.2 Méta-instruments.....191
5.2.3 Corps-instrument 198
5.2.4 Espace sentant 204
5.3 Vers une pensée sonore du corps 210
5.3.1 La cognition musicale incarnée.....212
5.3.2 La théorie mimétique.....215
5.3.3 Énaction et perspective écologique 218
5.4 Le geste musical 223
5.4.1 Les trois fonctions du geste 225
5.4.2 Geste instrumental.....227
5.4.3 Une définition qualitative du geste musical 228
5.5 Au-delà de l'extension : la reconfiguration comme nouveau paradigme pour la médiation technologique.....233

Chapitre 6
Étendre la conscience du corps.
Nouvelles technologies pour la pédagogie du mouvement.

6.1 Analyse du mouvement et médiation technologique 243
6.1.1 Pédagogie, nouvelles technologies et interaction sonore 245
6.1.2 Sonoriser le mouvement pour stimuler la créativité motrice et le bien-être psychophysique 249

6.2 Développer des outils technologiques pour la pédagogie du mouvement et l'interaction sonore 255
6.2.1 Paradigmes d'interaction 256
6.2.1 Description des dispositifs 257
6.2.2 Codage et design sonore 259
6.3 Présentation de l'étude de cas 264
6.3.1 Référentiel relationnel 265
6.3.2 Référentiel corporel 268
6.3.3 Référentiel environnemental 272
6.4 Considérations sur l'expérience 276

TROISIÈME PARTIE

PRATIQUES CRÉATIVES

Chapitre 7
Intégration multimodale et composition du geste.
Le feedback sonore comme moyen de reconfiguration.

7.1 Intégration multimodale et médiation technologique.....285
7.1.1 Contexte et méthodologie des expériences proposées 286
7.2 Étude de cas n.1 : perception haptique et feedback sonore.....287
7.2.1 Conception écologique du design sonore interactif 288
7.2.2 Description de l'expérience.....290
7.2.3 Considérations sur l'expérience 294
7.3 Étude de cas n.2 : écouter/toucher 303
7.3.1 Configuration technique et design sonore 304
7.3.2 Description de l'expérience 306
7.3.3 Considérations sur l'expérience 311
7.4 Conclusions 314

Chapitre 8
Pour une dramaturgie du geste sonore interactif.
Réflexions sur la médiation technologique dans le cadre de la conception et de la création scénique.

8.1 Introduction 318
8.2 Contextes de création et orientation de la première phase d'expérimentation 318
8.2.1 Expérimentation sur les analogies morphologiques sonores, visuelles et gestuelles.....319

8.2.2 Improviser avec les technologies : protocoles d'expérimentation 324
8.3 You! Fight : stratégies créatives au service de la scène 328
8.3.1 Présentation du travail : première version 330
8.3.2 Méthodologie de travail 332
8.4 Description des systèmes interactifs développés 334
8.4.1 Première scène de boxe : les mouvements du boxeur 335
8.4.2 Deuxième scène de boxe : contrôle, effort et ralenti 338
8.4.3 Les scènes d'échecs 340
8.4.4 L'espace comme environnement sonore 341
8.5 Considérations conclusives 347

Chapitre 9

Pour une approche écologique du geste sonore. Métaphores incarnées et autopoïèse dans le processus de création.

9.1 Étude du mouvement et pratique artistique : une vision holistique du processus de création 352
9.1.1 Introduction au contexte de travail 352
9.1.2 Étude #1 : description du travail 355
9.2 Métaphores incarnées : un point de vue holistique sur les processus de création 359
9.2.1 Configuration technique 361
9.3 Codage 363
9.3.1 Mise en échelle "incarnée" des descripteurs d'inclinaison 363
9.3.2 Traitement fonctionnel des signaux physiologiques 364
9.3.3 Configurer la qualité du geste : effort, orientation et accélération 368
9.4 Mapping multimodal : refléter la co-articulation du système sensori-moteur 371
9.4.1 Exemple de configuration du mapping 376
9.5 Conception sonore : rendre le son plus corporel 378
9.5.1 Différents degrés de saturation du son et de tension corporelle : une composition audiotactile ..380
9.6 « Performer » le son 382
9.6.1 Redessiner la géographie sensorielle du corps 383
9.6.2 Stratification du geste sonore 384
9.6.3 L'improvisation et la notion d'émergence 387
9.7 Conclusion : l'autopoïèse de la corporéité 391

Conclusions **393**

Annexe 1 - Carnets de bord **407**

Annexe 2 - Documentation audiovisuelle **417**

Bibliographie **419**

Introduction

Au cours des dernières trente années, la généralisation des technologies informatiques a produit un changement radical dans la manière d'agir et de percevoir dans l'espace sensoriel, symbolique et affectif qui nous entoure. Dans ce cadre, les avancées technologiques dans le domaine de l'interaction homme-machine ont permis de repenser d'une façon structurelle les frontières putatives entre monde physique et monde numérique. L'interactivité, à savoir la capacité d'un sujet d'établir un dialogue avec un système informatique, ainsi que la multimodalité, c'est-à-dire la connexion structurelle entre différentes perceptions sensorielles (sonores, visuelles, haptiques, etc.), sont les caractéristiques dominantes de cette révolution. Contrairement à une vision nihiliste de la technique, la diffusion récente des systèmes de captation et d'analyse du mouvement semble renforcer, en outre, le rôle positif de la présence corporelle dans le processus de génération et de transformation du *medium* numérique tout en induisant une implication majeure entre corps et environnement technologique. D'ailleurs, le domaine de l'analyse et de la modélisation du mouvement est devenu, désormais, un secteur de recherche autonome caractérisé par une forte convergence interdisciplinaire qui unit les domaines de l'art et de la science. Au sein d'un tel renouvellement technologique, épistémologique et expressif, tant la pratique artistique que la recherche académique semblent s'interroger d'avantage sur la manière dont les technologies interactives apportent une transformation de la perception et de la cognition à l'intérieur du processus de création.

La musique est aujourd'hui l'un des domaines les plus impliqués par cet questionnement. Au cours des dernières années, en effet, les technologies interactives ont considérablement élargi le vocabulaire de la performance musicale ainsi que celui de la recherche musicologique. Actuellement, la conception et le développement de nouvelles interfaces musicales impliquent un large éventail de domaines scientifiques allant du design interactif aux neurosciences, de la psychologie aux sciences de la communication, de la bio-mécanique à l'informatique, de la philosophie au domaine des pratiques et des théories de l'art. L'affirmation d'une telle approche interdisciplinaire semble être, aujourd'hui, la clef de voûte pour aller au-delà d'une simple perspective technologique et ainsi concevoir de nouvelles formes d'expressivité musicale. Dans ce cadre, on assiste d'ailleurs à un passage remarquable d'une conception de l'interaction centrée sur l'ordinateur à une conception de l'interaction centrée sur l'être humain. La présence physique et la

participation holistique semblent en être les caractéristiques principales de ce que l'on peut appeler une approche incarnée à l'interaction. L'adoption d'une perspective incarnée vise à définir un ensemble de stratégies conceptuelles et de réalisation permettant à l'utilisateur de percevoir l'interface comme une extension naturelle du corps. Selon Marc Leman, une compréhension incarnée de la manière dont la musique est interprétée, perçue et socialement partagée peut nous aider à repenser la médiation technologique en renforçant ainsi notre implication corporelle avec la musique. D'ailleurs, il convient de noter que l'introduction de médias interactifs dans les processus de création musicale (que ce soit la composition ou la performance) n'apporte pas uniquement un enrichissement de la palette expressive du musicien. L'enjeu majeur de l'emploi de technologies de captation dans la pratique musicale semble être la redéfinition du rôle de l'anatomie corporelle dans les processus de production sonore. La sonorisation du mouvement implique, en effet, deux dimensions complémentaires qui entrelacent activité et passivité, action et perception : d'une part, le *feedback* sonore représente une forme d'extension acoustique du geste; de l'autre, il implique une forme de rétroaction sensorielle qui informe l'*interacteur* sur la qualité de son mouvement. En partant d'un tel point de vue, cette thèse s'interroge d'avantage sur la capacité du son de modifier, via la médiation technologique, l'organisation perceptive du mouvement. Dans ce cadre, j'analyserai la manière dont la transformation des aspects imperceptibles du mouvement en données perceptibles – sous forme de son – permet de prendre conscience des processus physiologiques et figuratifs qui sont à la base du geste expressif. La réflexion proposée vise à démontrer comment l'utilisation des *feedbacks* sonores interactifs offre au *performeur* la possibilité de redéfinir sa propre géographie sensorielle et de repenser ainsi la composition du mouvement. Par cela, la sonorisation est considérée comme un processus induisant une reconfiguration autopoïétique de l'anatomie corporelle. Au sein d'une telle hypothèse, le son est conçu comme une matière moléculaire qui peut être organisée et structurée en partant des effets produits sur la corporéité du *performeur*.

Cadre épistémologique

Un tel scénario n'évoque pas seulement un terrain d'expérimentation inédit pour la pratique artistique. Il s'agit également de définir un nouveau cadre épistémologique qui entrelace médiation technologique, geste et interaction sonore. En nous apportant de nouvelles perspectives sur la relation entre mouvement et

expérience musicale, la médiation technologique sollicite l'émergence d'une pensée sonore enracinée dans la corporéité. Une telle approche reflète d'ailleurs l'affirmation récente d'une perspective incarnée au sein de différentes branches de la recherche scientifique. Issue d'un vaste ensemble de théories comme la phénoménologie merleau-pontienne (Melreau-Ponty), la psychologie écologique et la théorie des *affordances* (Bateson, Gibson), l'*énactivisme* (Varela, Thompson), les théories de la perception basées sur l'action (Nöe, Petit), les théories de l'« esprit étendu » [*extended mind*] (Clarck) et les recherches sur les neurones miroirs (Gallese, Rizzolatti), la perspective incarnée affirme la nature corporelle, non-dualiste et "située" des phénomènes perceptifs et cognitifs de l'être humain. Au cours des dix dernières années, un tel paradigme a été également appliqué à l'étude de la musique en définissant l'affirmation de ce que l'on appelle, d'après Marc Leman, la "cognition musicale incarnée". Dans ce cadre, l'expérience musicale est interprétée d'avantage comme un phénomène multimodal, orienté vers l'action et, en dernière analyse, incarné. Ici le rapport avec la médiation technologique est décliné selon deux aspects : d'un côté, les technologies d'analyse du mouvement permettent d'étudier expérimentalement la connexion biunivoque entre phénomène acoustique et système sensori-moteur, de l'autre, la compréhension de la nature incarnée de l'expérience musicale oriente la conception et le développement de technologies interactives vers un modèle plus holistique. Le rapport entre médiation technologique et perspective incarnée s'articule pourtant d'une façon réversible. La cognition musicale incarnée peut être considérée comme le sommet d'une tendance plus générale à repenser l'épistémologie sonore selon un point de vue essentiellement corporel. À ce propos, même en partageant de nombreux éléments issus d'un tel paradigme, la réflexion conduite dans le cadre de cette thèse essaie d'articuler un cadre épistémologique partiellement complémentaire. Du point de vue méthodologique, j'ai pourtant choisi de ne présenter la théorie de la cognition musicale incarnée que dans le cinquième chapitre. Une telle démarche m'a permis d'élaborer la problématique du rapport entre médiation technologique, mouvement et interaction sonore en développant une argumentation autonome. Deux corpus théoriques ont été employés à ce propos. D'un côté, ma réflexion s'inscrit dans le sillage de la philosophie française du XX^{e} siècle en s'inspirant tout particulièrement des ouvrages de Maurice Merleau-Ponty, Gilles Deleuze, Felix Guattari et Gilbert Simondon. Même si la pensée de Merleau-Ponty est souvent objet de référence pour toute recherche portant sur la problématique du corps, ces réflexions se limitent généralement au cadre théorique élaboré dans la *Phénoménologie de la Perception*.

Ma réflexion intègre également un certain nombre de problématiques esquissées dans *Le Visible et l'Invisible*, œuvre inachevée, et souvent énigmatique, qui anticipe d'ailleurs beaucoup de thématiques traitées dans cette thèse, notamment la question de la réversibilité et du chiasme. Certains concepts-clés de ma réflexion, comme celles de "Corps Sans Organes", de "virtuel" et surtout de "déterritorialisation" viennent du lexique philosophique de Deleuze et Guattari. Cette dernière notion, en particulier, revêt une importance cruciale, dans le cadre ma réflexion, afin d'interpréter les processus de transformation de la corporéité par le biais de technologies interactives. Les textes de Simondon ne sont pas traités de manière approfondie dans cette thèse même s'il représentent une sorte de référence souterraine surtout en ce qui concerne la définition d'*environnement technologique*. De l'autre côté, ma proposition théorique reflète également la vision du corps émergée au cours du XX^{e} siècle grâce à certains théoriciens et artistes majeurs de la scène théâtrale et chorégraphique. De Dalcroze a Laban, jusqu'à Artaud et Grotowski, tous ces auteurs ont interrogé la manière dont le mouvement est au centre d'un processus de reconfiguration de la corporéité. La recherche et la pratique de la danse des artistes comme Steve Paxton ou William Forsythe, parmi d'autres, a approfondi une telle réflexion en concevant l'anatomie corporelle non pas comme une entité stable et prédéfinie mais plutôt comme un dispositif de composition pour la scène. En partant d'une telle vision du corps, mes argumentations s'articulent à partir des auteurs comme Michel Bernard, Hubert Godard et Alain Berthoz dont les réflexions ont contribué de manière remarquable à l'étude du corps en danse et dans les arts du spectacle. Les réflexions de deux premiers, en particulier, m'ont aidé à interpréter la relation entre *feedback* sensoriel et composition du mouvement selon la perspective d'une reconfiguration de l'anatomie corporelle. Il convient de noter que leur contribution, essentielle à l'étude du mouvement et de la perception, est en effet presqu'absente au sein de la réflexion sur la musique, et notamment en dehors de la littérature francophone. L'intégration de ces auteurs dans le cadre du paradigme théorique de la cognition musicale incarnée permet donc d'élaborer une perspective inédite centrée sur le rapport entre corporéité, son et médiation technologique.

Approche écologique

Au cœur de cette proposition théorique demeure ce que je définis comme une approche écologique. Au sens strict du terme il ne s'agit pas d'une méthode mais plutôt d'une perspective visant à interpréter la

médiation technologique comme un environnement et non comme un dispositif. En s'inspirant de la vision écologique et holistique de Gregory Bateson, ma réflexion essaie de concevoir le rapport entre corporéité et technologie non pas comme échange neutre d'informations mais plutôt en termes d'affection et de modification réciproque. Une telle approche permet d'éviter une vision univoque qui ne tient pas suffisamment compte de l'entrelacement de la technique avec la corporéité. Tantôt les approches purement psychologiques, tantôt celles purement computationnelles sont en effet à l'origine d'une double erreur épistémologique. D'un côté on trouve ce qu'on pourrait appeler un humanisme anthropocentrique, héritier du subjectivisme phénoménologique[1] ainsi que d'une certaine mythisation épistémologique du corps en anthropologie. Selon ce point de vue, le corps vécu est conçu comme une entité primordiale et indivisible, pour laquelle l'intrusion technologique constitue une menace capable d'altérer son identité originelle. La technique est conçue ici comme une tentative aberrante de l'esprit de se détacher de sa propre patrie corporelle[2]. À l'opposé, les approches purement computationelles ont tendance à projeter des modèles algorithmiques abstraits, issus des processus technologiques, sur l'organisme vivant. À l'instar de la métaphore de l'homme-machine, cette vision s'affirme, pendant la deuxième moitié du XX^{e} siècle[3], dans de nombreuses branches des sciences exactes. Il faut citer, à ce propos, le développement de la théorie de l'information et de la cybernétique d'après-guerre[4], dans lesquelles on interprète les phénomènes de la communication et de l'expérience perceptive selon le modèle de la transmission électrique des signaux.

---

[1] Comme il a été souligné par de nombreux auteurs, l'une des limites de la phénoménologie traditionnelle est de se réduire à une sorte de subjectivisme transcendantal qui n'arrive pas vraiment à se détacher des préjugés classiques de la métaphysique occidentale. Voir, parmi d'autres, la critique menée par Ricœur dans "Phénoménologie et herméneutique. En venant de Husserl…" in Paul RICŒUR, *Du texte à l'action. Essais d'herméneutique*, Paris, Seuil, 1986.

[2] Voir, parmi d'autres, la critique menée par l'anthropologue David Le Breton aux technologies du virtuel : David LE BRETON, "Vers la fin du corps : cyberculture et identité" in *Revue internationale de philosophie*, 4/222, 2002, p. 491-509.

[3] Il faut néanmoins préciser que l'histoire de la pensée de l'automate remonte au moins au développent du mécanicisme à l'époque moderne. Cette réflexion trouve son origine, notamment, dans les hypothèses cartésiennes autour de l'« animal-machine » élaborées dans la cinquième partie du "Discours", cf. René DESCARTES, *Discours de la méthode* [1637], Paris, Gallimard, 1991.

[4] Claude E. SHANNON, "A Mathematical Theory of Communication" in *Bell System Technical Journal*, vol. 27, 1948, p. 379-423 et 623-656.

Plus récemment, on retrouve cette vision dans la tendance à interpréter le fonctionnement du cerveau ou des processus cognitifs supérieurs selon des modèles purement computationnels. Cette vision devient populaire pendant les années 1980 avec l'affirmation du modèle théorique de l'intelligence artificielle[5], et avec l'affirmation du modèle de neurosciences comme paradigme prédominant de la recherche scientifique[6]. Si le paradigme anthropocentrique et psychologique pose le corps subjectivé comme entité préalable naturellement opposée à toute transformation technique, les épistémologies computationnelles, utilisent le modèle des objects techniques comme point de vue privilégié pour comprendre le fonctionnement de l'organisme vivant en oubliant l'enracinement de ce dernier dans son milieu existentiel et culturel. Dans le premier cas le corps organique est donné comme postulat transcendantal *ante-rem*; dans le deuxième il est le produit, *post-rem*, de la pensée technique. Dans les deux cas, on néglige la *co-naissance* de la corporéité et de l'environnement technologique, à savoir l'esprit profond de leur phylogenèse réciproque[7]. Au contraire, dans une vision écologique, la corporéité n'est pas conçue comme une entité stable et définie mais plutôt comme un système dynamique capable de se transformer et de s'adapter en fonction des interactions avec l'environnement. De manière similaire la technique n'est pas conçue seulement comme modèle abstrait et formel mais comme un environnement capable d'affecter les organismes vivants et de se transformer à son tour. De ce point de vue, l'attention est portée non pas sur l'information mais sur la qualité sensible des interactions. Le *feedback* n'est pas simplement interprété comme la réponse du système à un *input* (au sens informatique) en entrée. Il est tout d'abord conçu comme rétroaction de l'environnement sur l'organisation perceptive de l'*interacteur*. Une telle rétroaction est la source d'un processus de reconfiguration impliquant l'environnement aussi bien que l'*interacteur*. Une telle perspective a un rôle central dans l'élaboration de la réflexion théorique proposée. Cette approche se reflète d'ailleurs dans la manière dont les pratiques créatives présentées dans la dernière partie de la thèse sont développées. Dans ce cadre, la conception écologique du rapport entre mouvement et environnement technologique et sonore permet d'élaborer des stratégies créatives permettant d'accomplir une approche

---

[5] Cf. Marvin MINSKY, *The society of minds*, New York, Touchstone, 1986.

[6] Cf. Michael S. GAZZANIGA et George R. MANGUN (dir.), *The cognitive neurosciences*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2014.

[7] De ce point de vue ma position rejoint les réflexions de Simondon sur la technique. Cf. Gilbert SIMONDON, *Du mode d'existence des objets techniques* [1958], Paris, Aubier, 2001.

holistique et expressive de l'interaction.

Méthodologie de la recherche

Du point de vue de la méthodologie, la thèse se développe selon une perspective incarnée et à partir d'une méthode d'analyse inspirée de la tradition phénoménologique. Une approche qualitative est pourtant privilégiée tant dans les deux parties théoriques (première et deuxième partie de la thèse) que dans la partie consacrée à la pratique (troisième partie de la thèse). Il s'agit par là de porter l'attention sur la description directe des phénomènes et notamment sur la qualité sensible de l'expérience. Dans le cadre de cette thèse, cela implique la mise en valeur des effets de la rétroaction sensorielle dans le processus interactif. Pour cela, la méthode phénoménologique est intégrée au sein de la perspective écologique que je viens de présenter. De cette manière, l'attention est déplacée sur les relations et sur les processus de transformation des acteurs en jeu en évitant ainsi le risque d'une tendance à la "subjectivation" de l'expérience. De nombreux aspects expérimentaux tels que par exemple le fonctionnement neuro-physiologique de notre apparat sensori-moteur ou les procédures des dispositifs technologiques décrits, sont également pris en compte et traités de manière approfondi. Néanmoins, l'*apparatus* de connaissances techniques ou physiologiques n'est pas réduit au seul fonctionnement du dispositif et du corps. Ces connaissances sont toujours considérées en rapport aux effets perceptifs produits par l'environnement technologique et sonore sur l'*interacteur*. Le centre d'une telle approche est donc la capacité de l'*interacteur* à modifier l'environnement et à se faire modifier par celui-ci à travers l'action. De ce point de vue, ma proposition se rapproche également de la perspective de l'énaction[8].

Un autre aspect remarquable de ce travail de thèse est le rapport entre théorie et pratique. La plus grand partie des thèses de doctorat portant sur le sujet de la musique et des nouvelles technologies se basent, notamment dans le domaine de la recherche anglophone, sur un modèle théorie-pratique issu des sciences dures. Dans ce cadre, le corpus théorique représente souvent un système de connaissance préalable dont la pratique s'efforce de vérifier expérimentalement les présupposés. Par conséquent, le corpus théorique ne

[8] Je reviendrai sur la définition de l'approche *énactive* au cours de la thèse.

fait pas l'objet d'une investigation du point de vue de son profil épistémologique. Au contraire, dans ma thèse les questions théorétiques principales sont objet d'une interrogation spécifique visant à élaborer une réflexion originale. En se détachant d'une logique "hypothèse/démonstration" ou "cadre théorique/ application pratique", le rapport théorie-pratique s'articule par stratifications de sens. D'une part, l'édifice théorique élaboré dans les deux premières parties de la thèse est affecté, de manière souterraine et implicite, par mon expérience directe avec la musique, le mouvement et les nouvelles technologies. De l'autre, la présentation de pratiques créatives se rapporte au cadre théorique de manières multiples. Quatre différentes modalités de relation sont à l'œuvre dans la thèse. Parfois une approche conventionnelle est employée : 1. Les données collectées, notamment dans le cadre des expériences pédagogiques présentées, permettent de vérifier un certain présupposé théorique ou d'évaluer comparativement le rapport avec d'autres études similaires. Une telle méthode présente un caractère principalement inductif; 2. Certains paradigmes théoriques peuvent être utilisés pour définir une démarche pratique en orientant les stratégies de développement, comme c'est le cas, par exemple, de la description des processus créatifs dans le cadre du spectacle vivant du huitième chapitre. Une telle méthode présente un caractère principalement déductif. À côté de ces approches, disons traditionnelles, l'entrelacement entre théorie et pratique revêt également une fonction créatrice. Cela s'articule selon deux aspects : 3. Le répertoire conceptuel est utilisé dans le but d'organiser un contexte d'expérience inédit. C'est par exemple le cas de l'analyse du processus de création présenté dans le dernier chapitre. Une telle méthode est également présent dans les autres chapitres pratiques. Ici le rapport théorie-pratique n'est ni vraiment inductif ni vraiment déductif puisque l'expérimentation n'est ni la vérification ni l'application d'un présupposé. Le but est plutôt l'agencement de l'expérience da manière à solliciter des interactions créatives et pourtant non totalement prévues. 4. De manière similaire, la pratique expressive du processus artistique permet d'alimenter une production conceptuelle. Cela rappelle d'ailleurs la définition de la philosophie élaborée par Deleuze lorsqu'il parle de l'acte de création :

> « La philosophie est une discipline qui consiste à créer ou à inventer des concepts. Et les concepts, […] n'existe[nt] pas dans une espèce de ciel où ils attendraient qu'un philosophe les saisissent. *Les concepts, il faut les fabriquer*. Alors, bien sur, ça ne se fabrique pas comme ça, on ne se dit pas un jour "Tiens, je vais faire tel

concept, je vais inventer tel concept". Pas plus qu'un peintre ne se dit un jour " tiens, je vais faire un tableau comme ça". Il faut qu'il y ait une nécessité. Mais autant en philosophie qu'ailleurs, tout comme un cinéaste ne se dit pas "tiens, je vais faire tel film", il faut qu'il y ait une nécessité. »[9]

Ici la "fabrication des concepts" est un processus lié à un empirisme radical qui s'inspire du processus de création en art[10]. Dans le cadre de cette thèse, l'analyse du processus artistique permet donc de "fabriquer" des concepts fortement enracinés dans leur milieu pratique et créatif. Il s'agit donc d'un plan de réflexion présentant un caractère souvent basé sur l'intuition mais qui néanmoins révèle une importance en termes de construction de la connaissance. Tantôt dans la troisième tantôt dans la quatrième modalité d'articulation théorie-pratique, la pragmatique artistique[11] informe le processus de la méthodologie scientifique.

Une nécessité similaire explique le rôle des schémas à l'intérieur de la thèse ainsi que la fonction des annexes vidéos. L'utilisation des schémas nait d'abord d'une exigence liée au style d'argumentation employé au cours de la thèse. Du point de vue de la structure interne de l'apparat conceptuel, les notions élaborées se développent selon ce que je définirais comme une "architecture modulaire", ce qui est d'ailleurs cohérent par rapport au sujet traité. Les concepts se développent selon une procédure

---

[9] Gilles DELEUZE, "Qu'est-ce que l'acte de création ?", Conférence donnée dans le cadre des mardis de la fondation Femis le17/05/1987, URL : http://www.lepeuplequimanque.org/acte-de-creation-gilles-deleuze.html Nous soulignons.

[10] Sur cet aspect de la philosophie de Deleuze je renvoie à Charles BOLDUC, *Le rôle de l'expérience dans la pratique philosophique de Gilles Deleuze*, Thèse de Doctorant en Philosophie, Université Laval, Québec, 2013.

[11] Dans la thèse j'utiliserai le terme « pragmatique » au sens linguistique du terme, à savoir le rapport entre l'énoncé et le contexte d'énonciation. En particulière j'utiliserai le terme selon deux déclinaison : la pragmatique artistique, c'est-à-dire la connaissance émergeant du contexte pratique de la signification (par exemple le processus créatif); la pragmatique gestuelle (ou expressive ou corporelle). Avec cette deuxième déclinaison je fait référence au répertoire gestuel du performeur. Ce répertoire est considéré comme une syntaxe composée pars des unités sémiotiques (les gestes) dont la signification émerge à partir du contexte « pragmatique » d''utilisation.

« récursive »[12] ou de mise en abîme. En ce sens, une certaine notion peut être utilisée sur plusieurs échelles de l'architecture épistémologique. D'autre part, les concepts abordés s'articulent à travers un tissu de références croisées tout au long de la thèse (cet aspect se concrétise par l'utilisation des *infra* et des *supra* dans les notes en bas de page). L'utilisation des schémas permet donc de donner un aperçu visuel d'une telle articulation conceptuelle. D'ailleurs les schémas ont également une fonction expressive. En d'autres termes, je considère que la transmission de la signification par une certaine qualité graphique des tableaux n'est pas neutre. La couleur, le signe, etc. représentent autant de voies d'accès à une certaine signification exprimée par la parole. Les schémas ont pourtant tendance à organiser une articulation multimodale de la signification. De la même manière, le matériel vidéo (Annexe 2) représente une forme de stratification multimodale de l'élaboration pratique-théorique. Ce matériel est par exemple constitué d'extraits des expériences pédagogiques proposées lors du sixième et du septième chapitre, ou encore de la captation de différentes phases de création artistique décrites dans les deux derniers chapitres. En respectant le format écrit de la thèse, j'ai décidé de développer mon argumentation sans faire référence directe aux vidéos. Néanmoins, ils ont été objet d'analyse pendant la rédaction de la thèse (notamment pour les chapitre 6 et 7). Ils représentent donc une forme supplémentaire d'élaboration des contenus traités. Les références aux vidéos sont présentes dans le texte aussi bien que dans l'annexe 2 sous forme de liste.

Plan de la thèse

La thèse est structurée en trois parties se composant à leur tour de trois chapitres chacune. La première partie de la thèse s'appelle *Ontologies*. Elle vise à construire l'édifice épistémologique supportant la thèse dans sa globalité. Ici les concepts principaux de ma réflexion sont développés. En particulier, les thématiques de la médiation technologique et de l'interface, de la perception et du mouvement, sont introduites et analysées. Le premier chapitre "La virtualité du réel", propose une réflexion esthétique et phénoménologique autour de la notion de virtuel. En partant d'une proposition de Frances Dyson, je démontre la connexion phylogénétique entre l'idéalisation du phénomène acoustique, élaborée par la

[12] L'approche récursive est un des concepts de base en informatique. On utilise souvent utilise l'expression pour définir l'exécution d'un l'algorithme sur un ensemble de données impliquant la simplification ou la subdivision de l'ensemble de données et l'application du même algorithme aux ensembles de données simplifiés.

métaphysique occidentale, et l'idéalisation du virtuel développée au sein du débat sur les arts numériques à partir des années 1990. Dans la suite du chapitre, je montre comment cette notion, loin d'être une forme d'existence qui s'oppose au réel, représente un aspect structural des mécanismes d'organisation perceptive du mouvement. Par cela, on verra comment la corporéité, notion clé s'opposant à celle de corps-organisme, s'articule via des processus de "virtualisation" de l'anatomie.

Le deuxième chapitre, "De la notion de corps virtuel", porte sur la problématique de la présence et de l'expressivité face aux technologies de médiation. Mon argumentation consiste ici à affirmer que si les processus perceptifs représentent une première forme de virtualisation, l'augmentation sensorielle offerte par les technologies de captation de mouvement induit l'émergence d'un niveau ultérieur de réorganisation de la corporéité. En partant de la notion de déterritorialisation, les œuvres de trois artistes majeurs des années 1990 sont analysées : Merce Cunningham, Stelarc et Char Davies. Dans ce cadre, je mets en évidence comment l'interaction avec le *feedback* sensoriel s'articule selon une double logique de l'*extension* et de l'*intensification* de l'anatomie corporelle.

Le troisième chapitre, "Les strates de l'interface", analyse l'ontologie du *medium* numérique en partant de quatre catégories spécifiques : la représentation, la modularité, l'automation et la *transmédialité*. À la suite de cette analyse, j'introduit la problématique de l'interactivité. Dans ce cadre, je propose d'interpréter cette notion à partir d'une approche écologique : en partant d'une définition de l'interface comme environnement technologique, il est possible d'analyser le rapport entre *interacteur* et médiation technologique sur la base des effets de la rétroaction sensorielle sur l'organisation perceptive. Dans cadre, le concept de *feedback* autopoïétique est introduit.

Dans la deuxième partie de la thèse, intitulé *Dispositifs*, j'approfondis la question de l'interface tout en m'attardant sur la relation entre son et mouvement. Le quatrième chapitre, "La captation du mouvement", présente les systèmes de détection du mouvement ainsi que la problématique du mapping. Le mapping est l'ensemble des procédures permettant la connexion entre geste et production sonore. Celles-ci sont analysées selon les notions de seuils d'*impédance* et de *pertinences*. Ces deux notions permettent de définir l'articulation interne de l'architecture du mapping. La taxonomie élaborée propose une classification par niveaux, typologies et modalités d'interaction. La fin du chapitre est consacrée à l'introduction de principes

qualitatifs d'évaluation et de composition qui seront après évoqués dans la partie pratique de la thèse. L'intérêt de ce chapitre consiste d'un côté à introduire certains aspects clés de la pratique technologique et de l'autre à proposer une classification originale des procédures d'interaction geste-son.

Le cinquième chapitre, "Sonoriser le mouvement et *corporiser* le son", introduit le cœur de la réflexion théorique de la thèse. L'idée est que si d'une part les technologies de captation du mouvement et l'utilisation de l'interaction sonore permettent une implication majeure de la corporéité dans l'expérience musicale, d'autre part l'émergence d'une perspective incarnée au sein de l'étude de la musique (perspective favorisée à son tour par l'utilisation de la technologie) permet de *corporiser* la pensée sonore. Dans ce cadre, je détaille comment différents "mode d'existence" de l'interface, et donc diverses manière d'interagir avec les sons, déterminent différents degrés de réorganisation de l'anatomie corporelle. Ensuite, je présente les paradigmes principaux de l'approche incarnée en musique : tout d'abord, la cognition musicale incarnée, qui représente le cadre théorique principal, puis les approches écologiques et *énactives*, et enfin les études sur le geste musical. Une des argumentations principales de la thèse est enfin introduite. Sur la base des analyses présentées, je propose d'entendre le rapport entre médiation technologique, mouvement et interaction sonore non pas en termes d'extension mais plutôt selon le paradigme de la *reconfiguration*.

Comme on le voit, les cinq premiers chapitres ont pour objet d'analyse le domaine de la performance artistique. Le sixième chapitre, "Étendre la conscience du corps", vise à introduire d'autres pratiques exploitant l'utilisation de *feedbacks* sonores en temps réel comme moyen de prise de conscience du mouvement. La diffusion de technologies de captation du mouvement a en effet permit d'étendre, au cours des dernières années, la possibilité d'adaptation des systèmes musicaux interactifs dans une variété de contextes. Parmi ceux-ci on trouve la pédagogie musicale et du mouvement, la rééducation motrice ainsi que différentes pratiques liées à la médiation thérapeutique. Dans tous ces contextes, le *feedback* sonore interactif offre une retour sensoriel du geste permettant de réorganiser le mouvement non pas sur les canaux proprioceptifs habituels mais à partir de stimuli acoustiques produits par l'interaction. L'interaction sonore agit également comme élément stimulateur capable de renforcer l'implication affective, physique et symbolique du processus de création musicale.

La troisième partie de la thèse, intitulée *Pratiques Créatives*, porte sur le développement de systèmes

interactifs dans le cadre de la pédagogie du mouvement et de la pratique artistique. La conception des applications interactives ainsi que la réalisation du design sonore ont été développés dans les studios du CIRM (Centre National de Création Musicale de Nice) qui a supporté mon travail de création pendant les trois années du doctorat. Comme je le suggérais, cette partie vise à stratifier le cadre épistémologique élaboré pendant les chapitres précédents. Les trois chapitres conclusifs présentent un niveau complémentaire de connaissance qui s'enracine notamment dans la pragmatique artistique et qui s'articule selon une modalité plus intuitive de l'argumentation. Le septième chapitre, "Intégration multimodale et composition du geste", présente des études de cas dans le domaine de l'analyse et de la pédagogie du mouvement en danse. Les expériences proposées ont été développées dans le cadre d'un projet de « pédagogie innovante » intitulé "*Arts vivants et numérique. Applications interactives pour l'analyse du mouvement et la recherche pédagogique*" dont j'ai été le porteur pendant l'année 2016-2017. Les expériences présentées dans ce chapitre portent tout particulièrement sur la manière dont les *feedbacks* sonores interactifs induisent des mécanismes d'intégration multimodale du mouvement tout en stimulant une prise de conscience des processus physiologiques et figuratifs à la base de la composition du geste.

Le huitième chapitre, "Pour une dramaturgie du geste sonore interactif", porte, tout comme le chapitre successif, sur l'analyse des processus créatifs dans le cadre de la performance musicale interactive. Ce chapitre présente, en particulier, les stratégies de création adoptées dans le développement d'une pièce théâtrale avec mon collectif artistique Kokoschka Revival. En partant d'une approche *top-down*, je présente comment les différentes applications interactives et sonores sont réalisées sur la bases des exigences dramaturgiques et de mise en scène. D'ailleurs, mon analyse vise aussi à démontrer comment la relation entre les mouvements des *performeuses* et l'environnement technologique et sonore se déroule d'une façon adaptative. Dans ce cadre, le *feedback* sonore s'avère être un canal d'information supplémentaire permettant de repenser l'organisation du mouvement en relation avec la topologie de l'espace ainsi qu'aux exigences dramatiques de la scène.

Dans le dernier chapitre de la thèse, "Pour une approche écologique au geste sonore", je présente plus en détail ma démarche créative en tant que développeur, designer du son et *performeur*. Tout ce chapitre se développe autour de al proposition faite que l'adoption d'une approche écologique permet de renforcer une vision plus holistique du processus créatif ainsi que de la pragmatique expressive. Du point de vue

méthodologique, j'ai pourtant décidé de m'impliquer dans les différentes phases de création du processus : développement des systèmes interactifs, réalisation du design sonore et interprétation. Dans le but de créer un rapport étroit entre composition du mouvement et production sonore, toutes les phases du processus de création sont informées par ce que j'appelle des *métaphores incarnées*. En accord avec la conception écologique présentée, je propose une méthode créative basée sur l'exploitation des images ou des connaissances liées à la corporéité pour développer des stratégies de réalisation originales. La cohérence en termes de configuration de l'interaction et de qualité de la matière sonore permet ensuite d'expérimenter des modalités de co-articulation geste-son inédites basées sur la réversibilité entre gestes de production sonore et gestes expressifs. Une telle approche, basée également sur des mécanismes issus de l'improvisation, induit l'émergence de processus de reconfiguration autopoïétique. Ces processus sont à la base d'une réorganisation globale de l'anatomie corporelle du *performeur* en interaction avec l'environnement sonore et technologique.

Première Partie

Ontologies

Chapitre 1

La virtualité du réel.

Des arts numériques à l'organisation perceptive du mouvement.

1.1 Aspirer à la condition du son ou de l'ontologie de l'immatériel

« Peut-être existera-t-il plus tard des vestiges fossiles du réel,

comme il en existe des ères géologiques révolues?

Un culte clandestin des objets réels, vénérés fétiches,

et qui prendront du coup un valeur mythique? »[13]

Il y a environ quarante ans, les technologies informatiques faisaient leur apparition dans le domaine de l'art en devenant l'objet de recherche des avant-gardes, aussi bien que d'expérimentateurs solitaires, reconnus après comme pionniers[14]. Dans les dernières décennies, et particulièrement à partir des années 1990, le numérique a acquis un rôle prépondérant dans la pratique artistique en en transformant l'univers

[13] Jean BAUDRILLARD, *Le crime parfait*, Paris, Éditions Galilée, p. 69.

[14] Bien que d'un point vue historique on considère habituellement les années 1990 comme l'âge d'or des arts numériques, il faut néanmoins noter que les premières expérimentations dans le domaine de l'informatique appliquée à l'art remontent au moins aux années 1970. Je cite juste à titre d'exemple la naissance de la musique par ordinateur avec Max Mathews et Jean-Claude Risset (en anglais *computer music*) et de la composition assistée par ordinateur (Iannis Xenakis), les premières installations interactives (Myron Kruger) ou les premiers systèmes rudimentaires de captation du mouvement pour la danse (Erkki Kurenniemi). À ce sujet je renvoie le lecteur à Steve DIXON, *Digital Performance. A history of new media in theater, dance, performance art, and installation*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2007, en particulier le chapitre intitulé "The Digital Revolution", p. 157-181.

sémiotique ainsi que les mécanismes créatifs[15]. Un des enjeux majeurs de cette révolution reste, encore aujourd'hui, le positionnement du processus expressif par rapport aux effets de médiation produits par les technologies numériques. Dans quelle mesure les interfaces technologiques affectent notre expérience esthétique aussi bien que nos processus cognitifs? Quel est le rôle du sensible dans un contexte de dématérialisation comme celui des médias numériques? Quelles sont les stratégies possibles pour élaborer des formes d'interactivité capables de combler l'écart qui nous sépare de l'automation? Toutes ces questions ont été l'objet, pendant les vingt dernières années, d'un débat complexe ayant comme but la définition de la spécificité ontologique de la pratique artistique face au numérique. Ubiquité, télé-présence, immersion, dématérialisation, hyper-médiation, tous ces concepts ont émergé dans les deux dernières décennies, en établissant une proximité sémantique entre les nouveaux médias et la notion de *virtuel*. Contrairement à

[15] « During the last decade of the twentieth century, computer technologies played a dynamic and increasingly important role in live theatre, dance, and performance […]. Theater practitioners such as Robert Lepage, The Builder Association, and George Coates Performance Works surrounded their actors with screens projecting digitally manipulated images. […] Laurie Anderson and William Forsythe created pioneering interactive performance CD-ROMs […]. Yacov Sharir choreographed entire dance works in the computer using *Life Forms* and *Poser* software. Merce Cunningham projected images of virtual dancers on stage, created by combining motion-capture techniques and advanced animation software. Troika Ranch, Company in Space, and Marcel.lí Anthúnez Roca used custom-made motion sensing software to manipulate images, avatars, sound, and lighting live on stage; and Toni Dove and Sarah Rubidge turned over those technologies to the audience, to experience them firsthand in advanced media-performance installations. Blast Theory fused paradigms from theater, Virtual Reality (VR), computer games, and "real life" to create complex audience improvisations » *Id*. p. 1-2. Ce n'est pas un hasard si Mark Poster parlait à l'époque de la naissance d'une deuxième ère des médias, tout en remarquant la portée ontologique de la révolution numérique actuelle : cf. Mark POSTER, *The second Age of Media*, Cambridge (Massachusetts), Polity Press, 1995.

son étymologie latine et à son usage dans la philosophie médiévale[16], le concept de virtuel commence à être associé, à partir des années 1980[17], aux technologies informatiques en désignant un domaine de l'expérience opposé à celui du réel. À partir de ce moment le terme commence à être employé pour caractériser la nature *transparente* des médias numériques :

> « Les pratiques technologiques ne sont pas immédiates [...] plus la médiation met en évidence la transparence, plus sa fonction est largement écoulée alors que le logiciel et ses matériaux deviennent plus complexes et significatifs. [...] Le contact implique toujours la médiation. Si c'est la transparence que nous recherchons, nous continuerons à interposer de plus en plus d'interfaces sophistiquées pour concrétiser cette transparence. »[18]

Le concept de « transparence » définit le caractère ambigu des interfaces virtuelles, dont l'accessibilité en termes de possibilités de manipulation va de pair avec la complexité des formes de médiation. De même que les processus algorithmiques nous permettent des transformations de la matière de plus en plus sophistiquées, de même les formes d'interactions sont relayées par des niveaux de médiation qui se superposent de plus en plus, tout en réduisant notre implication kinesthésique et sensorielle. Il s'agit donc de repenser le processus expressif à partir d'une perspective "médiologique", à savoir l'étude des relations

---

[16] Le terme "virtuel" vient du latin *virtus* (puissance, faculté). L'origine de son utilisation en philosophie remonte à Aristote qui emploi le terme grec *dunaton* pour designer le processus complémentaire à l'action. Le couple *acte*/*puissance* est hérédité par la philosophie scolastique dont la métaphysique adopte la notion de *virtualis* comme synonyme de *potentiel*, voir "existence en puissance", opposé aux notions de *actuel* ou de *effectif* : « Le virtuel tend à s'actualiser, sans être passé cependant à la concrétisation effective ou formelle. L'arbre est virtuellement présent dans la graine. En toute rigueur philosophique, le virtuel ne s'oppose pas au réel mais à l'actuel », Pierre LEVY, *Qu'est-ce que le virtuel?*, Paris, Éditions La Découverte, 1995, p. 13. Bien que la réflexion de Levy date désormais de quelques années, la question du statut ontologique du virtuel reste même aujourd'hui assez problématique et loin d'être résolue. Cf. à ce propos Serge TISSERON, *Rêver, fantasmer, virtualiser. Du virtuel psychique au virtuel numérique*, Paris, Dunod, 2012. Voir en particulier les p. 29-84.

[17] Cf. Matjaž MIHELJ, Domen NOVAK et Samo BEGUŠ (dir.), *Virtual reality technologies and applications*, Dordrecht, Springer, 2014, p. 5-7.

[18] Jean-Louis WEISSEMBERG, *Présences à distance. Déplacement virtuel et réseaux numériques*, Paris, Éditions l'Harmattan, 1999, p. 20.

d'intermédiation affectant les phénomènes de transmission de signes[19]. Au sein de la réflexion sur le rapport entre arts et médiation technologique, cette problématique se décline notamment autour de la question de l'interactivité. J'y reviendrai plus loin.

Un autre aspect majeur de la genèse de la notion de virtuel concerne la relation entre nouveaux médias et ontologie sonore. L'introduction des technologies informatiques en art (précisément dans les arts vivants et les installations interactives) a impliqué l'adoption du son en tant que dispositif prédominant de la scène numérique. Cette omniprésence de la dimension acoustique, ne concerne pas seulement l'évolution des possibilités offertes par la technique. Il s'agit, plus en profondeur, d'un lien structurel, souvent négligé, entre deux formes d'invisibilité : le son en tant que modèle vibratoire et le virtuel comme modèle d'immatérialité. À ce sujet, Frances Dyson y consacre son excellent ouvrage "*Sounding New Media. Immersion and Embodiment in the Arts and Culture*". Dans ce livre, Dyson analyse la phylogenèse de la notion de virtuel au sein des arts numériques, tout en mettant en lumière le rapport étroit qui lie ce paradigme à l'ontologie sonore :

> « The term virtual denotes the immateriality of digital media, while also referring to an ontological state or condition. As such, the virtual contains within it the idea of a liminal domain wherein existence can take place and where users can be. This domain is often described as transcendent, sublime, and mystical […]. Indeed, it could be said that new media art - representing the pinnacle of digital media - seems not to aspire to the conditions of media, but rather, […] to the condition of sound. »[20]

Selon la chercheuse américaine, tant le discours idéologique que le développement technique des nouveaux médias auront été implicitement élaborés autour d'un modèle idéalisé du phénomène auditif. Ce processus d'attribution sémantique et ontologique peut être résumé en deux passages principaux. D'un

---

[19] Cf. Regis DEBRAY, *Manifestes médiologiques*, Paris, Gallimard, 1994.

[20] Frances DYSON, *Sounding New Media. Immersion and Embodiment in the Arts and Culture*, Berkeley-Los Angeles (CA), University of California Press, 2009, p. 1-3.

côté, la (soi-disante) nature éphémère de l'objet sonore aurait constitué un paradigme de référence pour l'apparition des médias de transduction des signaux, et puis de numérisation de l'information[21]. De l'autre, les premières technologies électroacoustiques développées au cours du XIX^e^ siècle représenteraient, à leur tour, une référence idéalisée pour l'émergence d'une panoplie numérique[22]. En ce sens, l'évolution de la *technè* au cours du XX^e^ et du XXI^e^ siècles, caractérisée par l'acquisition progressive des degrés croissants d'immatérialité, peut être interprétée comme adéquation formelle et symbolique à un modèle idéalisé du son comme éther[23]. La caractérisation transcendante du virtuel, élaborée par les arts numériques entre les années 1970 et les années 2000, en est l'exaltation esthétique[24].

---

[21] « Fundamental to the development of communication technology, these notions [sound and aurality] are revised, remodeled, cut, and pasted to fit the new techno-epistemological regime […] either as a medium, or a model, or a metaphoric ground. […] These systems for filtering, producing, adapting, and adjusting sound and the voice have operated throughout modern metaphysics, and it is through their operations that later technological transformations - such as the transmission of the voice in telephony - would be possible, and contemporary notions of (virtual) immersion could either make sense », Frances Dyson, *op. cit.*, p. 7-8.

[22] « New media represents an accumulation of the auditive technologies of the past : a realization of the telepresence first offered by the telephone, a computational form of the inscriptive techniques of the phonograph and tape recorder, an appropriation of the ethereal associations of radio, and an embrace of film sound spatiality. », *Id.*, p. 3.

[23] En raison de son essence vibratoire, le phénomène acoustique se produit dans la perte de la matérialité qui l'a générée (la résonance qui se détache du corps résonant). À cause de cette relation ambigüe avec la matière (souvent entrelacée avec les processus imaginatifs) l'ontologie sonore se caractérise comme précaire, d'où l'idéalisation du son comme éther. Le terme éther renvoie, dans son usage philosophique et scientifique, à une matière éphémère, une substance extrêmement subtile (quasi-immatériel) qui remplirait l'espace céleste. Du point de vue de la mécanique classique, la notion de substance éthérée permettait d'imaginer une alternative ontologique au concept de vide absolu.

[24] Sur la relation génétique entre phénomène vibratoire, transcendance, technologie et art contemporain je renvoie également à Douglas KAHN, *Earth Sound Earth Signal. Energies and Earth Magnitude in the Arts*, Berkeley-Los Angeles (CA), University of California Press, 2013.

1.2 L'éphémère sonore et la tentation métaphysique de la musique

En puisant à l'extrême dans les thèses de Dyson, il est possible de noter que cette transposition sémantique et symbolique du phénomène sonore se base sur une forme de mystification du sensible qui va de pair avec l'histoire de la pensée sonore occidentale. Il convient de remarquer, en effet, que l'origine de cette idéalisation du sonore remonte aux racines de la métaphysique européenne[25]. Bien que les raisons de cette idéalisation soient multiples, elles peuvent être catégorisées à partir de deux processus majeurs : 1. La dévalorisation ontologique, et puis épistémologique, du sensible. 2. La surévaluation métaphysique de la musique.

1.2.1 Dévalorisation ontologique et épistémologique

1. La première conception remonte à la philosophie platonicienne pour laquelle le sensible est conçu comme reflet insuffisant et précaire de l'ordre ontologique : nos sens ne peuvent appréhender que des apparences illusoires, l'ordre acoustique est, dès lors, un ordre trompeur[26]. Dans l'époque moderne, cette dévalorisation se configure comme problématique épistémologique : la sensation tout court n'est pas définie en fonction d'une réalité ontologique extra-sensible, elle est plutôt le degré inférieur de l'acte de connaissance. Les perceptions acoustiques ne pouvant donner lieu qu'à des impressions ambigües et

---

[25] Cf. Thomas J. MATHIESEN, "Antiquity and the Middle Age" in Theodore GRACYCK et Andrew KANIA (dir.), *The Routledge Companion to Philosophy and Music*, London-New York, Routledge, 2011, p. 257-272.

[26] On ne rappelle pas assez souvent que dans l'allégorie de la caverne de Platon il n'y a pas seulement des ombres mais aussi des échos. De la même manière que les ombres, les échos sont simulacres du monde intelligible : « Et si le paroi du fond de la prison avait un écho, chaque fois que l'un des porteur parlerait, croiraient-ils entendre autre chose que l'ombre qui passerait devant eux? Non, par Zeus, dit-il. Assurément, repris-je, de tels hommes n'attribueront de réalité qu'aux ombres des objets fabriqués. », PLATON, *La République - Livre VII*, texte traduit par R. BACCOU, Paris, Flammarion, 1996, p. 248. Il faut toutefois préciser que même dans l'antiquité des approches phénoménologique - *ante-litteram* - émergent. Je me réfère particulièrement à la philosophie de la musique d'Aristoxène. Cf. à ce sujet Annie BÉLIS, *Aristoxène de Tarente et Aristote : le « Traité d'Harmonique »*, Paris, Klincksieck, 1986.

confuses, font partie des « qualités secondaires » de l'objet réel[27]. À la limite, les sensations auditives peuvent, grâce à leur nature immatérielle, être le véhicule de la signification, tout en subordonnant l'acte perceptif à la connaissance rationnelle[28]. Dans les deux cas, l'événement sonore est conçu, à cause de sa nature (apparemment) éphémère, comme *simulacre du réel* (quel que soit le monde des idées ou des lois rationnelles qui régissent la nature).

1.2.2 Surévaluation métaphysique

2. La seconde conception est complémentaire à la première. Le caractère vibratoire de l'objet sonore a, depuis l'antiquité, inspiré une interprétation métaphysique de la musique. Cette conception a été élaborée à partir d'un double processus de dématérialisation du sonore. En premier lieu à travers la *valorisation des aspects arithmétiques et géométriques* qui peuvent être associés au phénomène acoustique. Cette conception s'enracine, notamment, dans les théories acoustiques de l'école pythagoricienne, pour ensuite se développer à l'époque moderne avec Galilée, Descartes et Rameau[29]. Dans ce cas aussi, l'objet sonore n'a pas

---

[27] « Il est évident que la masse, la figure et le mouvement de plusieurs corps autour de nous produisent en nous diverses sensations de couleur, de son, de goût, d'odeurs, de plaisir et de douleur, etc. Ces caractéristiques mécaniques des corps n'ont absolument aucune affinité avec ces idées qu'elles produisent en nous […] on ne peut donc avoir aucune connaissance distincte de telles opérations » John LOCKE, *Essai sur l'entendement humain - Livre III et IV* [1690], Paris, VRIN, 2006, p. 321.

[28] « Soit donc une sensation auditive, dans son double aspect, somatique : une configuration de la matière cérébrale (c'est-à-dire un mouvement de la glande pinéale correspondant à une qualité seconde qui n'existe que dans l'esprit), et psychique: une perception sensorielle. Notre expérience, constate Descartes, montre qu'il est possible que le versant psychique ne consiste plus en l'audition d'une qualité sensible, mais en l'appréhension d'un sens. Le son est spiritualisée en signification » Carole TALON-HUGON, *Descartes ou les passions rêvées par la raison*, Paris, VRIN, 2002, p. 231. Il convient de noter que la notion même de *sujet*, telle qu'elle émerge en époque moderne, reflète une idéalisation conceptuelle de l'organe auditif et du phénomène de l'écoute. À ce sujet, Veit Erlman remarque comment l'évolution des études physiologiques concernant l'ouïe ait influencé l'émergence de la notion d'auto-réflexion. La conception du *cogito* cartésien aurait été élaborée, en ce sens, en référence au verbe latin *concutere* dont l'aire sémantique renvoie au phénomène vibratoire. Cf. Veit ERLMAN, *Reason and Resonance. A history of modern aurality*, Cambridge (Massachusetts) MIT Press, 2010. Voir en particulier les p. 37-47.

[29] À ce sujet, je renvoie le lecteur à Paolo GOZZA (dir.), *Number to Sound. The musical way to the scientific revolution*, Berlin, Springer, 2000, p. 1-63.

de valeur en soi : il agit en tant que simulacre d'un référentiel extérieur, à savoir sa superstructure métamathématique. Une seconde forme d'idéalisation consiste à interpréter la prétendue nature immatérielle du son comme reflet du sublime. Il s'agit ici d'une spiritualisation de la musique et du phénomène vibratoire. Bien que l'origine de ce genre de valorisation soit plutôt archaïque - comme en témoignent de nombreuses cosmogonies anciennes[30] - cette conception trouve une légitimation philosophique remarquable avec la notion de « musique des sphères » de Boèce, tout en connaissant son véritable apogée avec le Romantisme européen[31]. Dépourvu de son revêtement charnel, le sonore est sublimé dans un pur *pneuma* immatériel[32]. Comme on le voit, tant la dévalorisation ontologique du sensible que la surévaluation spirituelle du musical associent le phénomène sonore à la dimension immatérielle de l'Être en légitimant, ainsi, l'aspiration métaphysique de la musique occidentale jusqu'à nos

---

[30] Cf. Marius SCHNEIDER, "Le rôle de la musique dans la mythologie et les rites des civilisations non européennes", dans Manuel ROLAND (dir.), *Histoire de la musique I*, Gallimard, Paris, 1960, p. 131-214.

[31] À cet égard, tant le formalisme de Hanslick que la conception du drame musical de Wagner, bien que représentant les deux pôles antithétiques de la musique romantique, revendiquent une sorte de transcendance du musical. Dans le cas de Hanslick, cette transcendance est le résultat d'une signification purement musicale de la forme sonore, à savoir le « beau musical ». La signification absolue de la musique, ne concernant pas les émotions, est transcendante par rapport à sujet écoutant. D'autre part, le sublime wagnérien constitue la voie privilégiée à travers laquelle l'auditeur peut accéder à une dimension mystique de l'Être, tout en adhérent aux émotions induites par la musique. Sur ce sujet je renvoie également à Eric DUFOUR, *L'esthétique musicale de Nietzsche*, Villeneuve d'Ascq, Presses Universitaires du Septentrion, 2005, p. 72-126 et p. 181-196.

[32] « La musique, qui vas au-delà des Idées, est complètement indépendante du monde phénoménal; elle l'ignore absolument, et pourrait en quelque sort continuer à exister, alors même que l'univers n'existerait pas […]. La musique […] n'est donc pas, comme les autres arts, une reproduction des Idées, mais une reproduction de la volonté au même titre que les Idées elles-mêmes. C'est pourquoi l'influence de la musique est plus puissante et plus pénétrante que celle des autres arts : ceux-ci n'expriment que l'ombre tandis qu'elle parle de l'être »; « Toutes les aspirations de la volonté […] peuvent être exprimées par les innombrables mélodies possibles ; malgré tout, il n'y aura jamais là que la généralité de la forme pure, la matière en sera absente » Arthur SCHOPENHAUER, *Le monde comme volonté et représentation* [1844], Paris, PUF, 2003, p. 329 et p. 335.

jours[33].

En résumant, l'ontologie du sonore se développe, dans la pensée occidentale, autour de deux formes d'idéalisation opposées et symétriques : *dévalorisation* (ontologique et épistémologique), et *surévaluation* (mathématique et spiritualisante). Cette polarisation de l'épistémologie sonore survit au XX[e] siècle en produisant des formes contemporaines d'idéalisation, informées par le nouveau contexte de médiation technologique. D'un côté, la technologie amène à une situation de *déréalisation* de l'événement sonore, liée à la reproduction ou à la simulation de l'univers acoustique[34]. De l'autre, la médiation technologique alimente, tantôt chez les technocrates tantôt chez les technophobes, le fantôme de la *déshumanisation* de la

[33] « From Plato and Plotinus to Boethius […] to Kepler's correlation of musical tones and intervals with planetary movements and astrological functions : from composers of projected "futuristic" works - Ives (*Universal Symphony*), Scriabine (*Mysterium*) et Varèse (*Espace)* - to Sun Ra's Astro-Infinity music, there have been philosophers, theorists, and composers who have understood the cosmic and universal source, the *mana*, of the musical impulse. For Stockhausen, music is a medium by which to discover oneself, and it » John Cott, *Stockhausen : conversation with the composer*, London, Robson, 1974, p. 11.

[34] « The benefits of the electroacoustic transmission and reproduction of sound are well enough celebrated, but they should not obscure the fact that precisely at the time hi-fi was being engineered, the world soundscape was slipping into an all-time lo-fi condition » ; « I coined the term *schizophonia* in "the new soundscape" […]. Related to schizophrenia, I wanted it to convey the same sense of aberration and drama. Indeed, the overkill of hi-fi gadgetry not only contributes generously to the lo-fi problem, but it creates a synthetic soundscape in which natural sounds are becoming increasingly unnatural while machine-made substitutes are proving the operative signals directing modern life » R. Murray Shafer, *The tuning of the world*, New York, Knopf, 1977, p. 88 et p. 91.

musique[35]. Dans les deux cas, le son technologique est conçu comme un simulacre renvoyant tantôt à une simulation de la réalité (dévalorisation) tantôt à l'altérité "*machinique*"[36] ou divine (surévaluation). Un troisième caractère concerne, enfin, la problématique de la médiation que j'ai évoqué à propos de la question de la transparence. Il s'agit, toutefois, d'un aspect regardant la question de la technique en général et sur laquelle on reviendra.

1.3 L'immatérialité du virtuel

La tradition occidentale a élaboré une épistémologie substantiellement désincarnée de l'expérience sonore. Il convient de noter que cette idéalisation n'est pas simplement la conséquence de la nature

---

[35] « Thus music enters its Third Stage. The first was restricted; that music was written to be performed principally by the human voice, and as in the voice, it was limited in its range of expression. […] The second was the instrumental stage. Here also the human agency was the key factor, and instrumental technique was largely conditioned by its vocal precedents […]. The third, the electronic stage, retains humain participation in the compositional process, but excludes it from the means of realisation. Such a dehumanized music is conceived by the intellect alone; the range of experience derived from traditional procedure is transferred to a radically new material » Hans-Heinz STUCKENSCHMIDT, "The third stage. Some observations on the aesthetics of electronic music" [1955] in Herbert EIMERT et Karlheinz STOCKHAUSEN (dir.), *Die Reihe vol.1 : Electronic Music*, Pennsylvania, Theodore Presser Company, 1958, p. 13. Bien qu'aujourd'hui une telle position puisse sembler obsolète, il me semble opportun de souligner comment une certaine réthorique de l'inhumain survit tantôt dans la tradition de la musique cosmique (kraut-rock, drone/ambient music) tantôt dans l'esthétique *machinique* de la musique électronique populaire dont les prodromes remontent, notamment, à la *motorischke-musik* de Kraftwerk et à la techno post-industrielle de Detroit. Sur ce sujet je renvoie le lecteur à Guillaume KOSMICKI, *Musiques électroniques : Des avant-gardes aux dance floors*, Marseille, Le mot et le reste, 2009, voir en particulier les pages 169 et ss, 213 et ss. Cf. également Jon SAVAGE, *Machine soul : une histoire de la musique techno*, Paris, Éditions Allia, 2011.

[36] Avec le terme "*machinique*" je fais référence à la conception de la machine en tant qu'entité profondément inhumaine se caractérisant par des processus propres tels que par exemple la répétition exacte, la simulation et les processus d'automation. Cf. parmi d'autres Olivier DYENS, *La Condition inhumaine : Essai sur l'effroi technologique*, Paris, Flammarion, 2010. Une telle caractérisation évoque principalement la réflexion sur la machine élaborée par Felix Guattari dans "L'inconscient machinique" (1979). Sur l'utilisation du terme "*machinique*" en musique je renvoie en outre à Nicolas DONIN et Bernard STIEGLER, "Le tournant machinique de la sensibilité musicale" in *Cahiers de médiologie : Révolutions industrielles de la musique*, 18, 2004, p. 7-17.

idéocentrique de la métaphysique européenne[37], ni seulement le fruit d'une abstraction arbitraire du phénomène acoustique. Il s'agit plutôt d'un processus d'idéalisation s'enracinant dans une certaine précarité ontologique du sonore. D'un point de vue strictement phénoménologique, le son est, en effet, un objet primaire de la perception[38] et non pas, comme il a été affirmé durant toute l'époque moderne[39], une qualité de la chose. Différemment de ce qui se passe avec la vision ou avec les sensations tactiles, avec l'ouïe nous n'entendons pas des objets matériaux mais des sons, qui - éventuellement - nous renvoient à une certaine densité du corps résonant. En ce sens, le son n'est pas un objet comme une table ou un arbre, puisque il développe une corporéité autonome et multiple faite des renvois et des réflexions, des diffusions dans l'espace et des dilatations dans le temps. Cette apparente précarité du sonore, cette autonomie du phénomène acoustique par rapport au champ actuel de la vision, constitue la véritable source de l'idéalisation ontologique à laquelle nous avons fait référence. En méconnaissant son origine corporelle, le sonore est conçu donc comme simulacre immatériel, parfois décliné comme éphémère (le son comme illusion de réalité), parfois comme ineffable (le son comme allusion au spirituel). Cette opération épistémologique réside notamment dans l'hypostatisation[40] des qualités *aurales* du phénomène acoustique[41] telles que, par exemple, les propriétés "*immersives*" (la possibilité d'être entouré par ou

---

[37] Le terme "idéocentrique" est normalement utilisé pour dénoter la nature idéaliste de la philosophie occidentale et surtout de sa métaphysique. Le terme renvoie d'un côté au privilège donné à la connaissance rationnelle sur la connaissance sensible, et de l'autre à la nature principalement visuelle de la métaphysique. L'étymologie grecque de "idée" renvoie d'ailleurs à l'aire sémantique de la "vision" (en grecque *idein*) dont le terme dérive.

[38] Cf. Edmund HUSSERL, *Idées directrices pour une phénoménologie* [1913], Paris, Gallimard, 1985.

[39] Cf. *supra* p. 30, notes n. 27 et n. 28.

[40] Dans la tradition philosophique, l'hypostatisation est un processus qui consiste à abstraire certains concepts ou qualités de la réalité phénoménale pour les rendre subsistants en soi-mêmes (dans le sens étymologique de "rendre substance"). Il s'agit d'un processus épistémologique particulièrement important dans la philosophie scolastique, mais qu'on peut, néanmoins, retrouver dans toute l'histoire de la pensée occidentale.

[41] J'utilise ici l'expression "aurale" en référence au terme "aura" dont l'étymologie latine et grecque renvoie à la nature atmosphérique et éphémère du souffle, entendu tantôt comme élément acoustique tantôt comme élément métaphorique évoquant les qualités spirituelles du réel. L'adjectif anglais "aural" garde toujours cette double référence au phénomène auditif et à l'émanation spirituelle.

immergé dans le son), le caractère "diffus" (la possibilité de faire résonner à distance), ou encore la nature "subtile" de l'onde sonore (le fait que le son puisse se diffuser par le biais de la vibration mécanique des éléments apparemment immatériels comme l'air). Cette scission remarquable entre les qualités éthérées du son et ses racines charnelles reflète, d'autre part, la séparation idéale entre perception et cognition qui régit l'histoire de la pensée métaphysique[42].

1.3.1 Mythisation et mystification

La réthorique de l'immatériel, qui se développe à partir des années 1980, d'abord dans les arts numériques, et ensuite dans la culture de masse, renvoie à une telle conception idéalisée du phénomène acoustique. En mettant l'accent sur le caractère immatériel du virtuel, les arts numériques semblent en effet hériter des superstructures idéologiques de l'éther sonore. Ce n'est pas un hasard si les diverses formulations esthétiques liées à la notion de virtuel numérique - télé-présence, *immersivité*, incorporéité, etc. - renvoient directement aux propriétés physiques du phénomène acoustique - propagation ondulatoire, nature *immersive*, caractère vibratoire. En prenant modèle sur l'éther sonore (c'est–à-dire le modèle idéalisé du son), le virtuel, en tant qu'expression des technologies numériques, se caractérise de façon éminemment *aurale*. Comme pour l'idéalisation du sonore, on assiste à une hyspostatisation des qualités éthérées du numérique (vitesse de transmission des données, ubiquité de la communication, immatérialité des processus de transformation de l'information, etc.) qui sont transformées, selon les cas, en signes de l'ineffable plutôt que de l'éphémère. En ce sens, le virtuel a été associé, au même titre que le sonore, à

[42] « Et donc ce résultat, qui le réaliserait dans sa plus grande pureté sinon celui qui, au plus haut degré possible, userait, pour approcher de chaque chose, de la seule pensée, sans recourir dans l'acte de penser ni à la vue, ni à quelque autre sens, sans en traîner après soi aucun en compagnie du raisonnement? celui qui, au moyen de la pensée en elle-même et par elle-même et sans mélange, se mettrait à la chasse des réalités, de chacune en elle-même aussi et par elle-même et sans mélange ? et cela, après s'être le plus possible débarrassé de ses yeux, de ses oreilles, et, à bien parler, du corps tout entier, puisque c'est lui qui trouble l'âme et l'empêche d'acquérir vérité et pensée. » PLATON, *Œuvres complètes (Tome IV - 1er partie : Phédon)*, Texte établi et traduit par Léon Robin, Paris, Les Belles Lettres, 1926, p. 14 (65e-66a).

l'éther, en devenant un simulacre immatériel[43]. Il convient de noter que tantôt les apologètes du sublime technologique tantôt les détracteurs du numérique revendiquent (et idéalisent) le caractère immatériel des nouveaux médias. Pour les premiers, le numérique, en nous libérant de la pesanteur obsolescente du corps, nous permet d'accéder à une expérience esthétique transcendante, reflétant la nécessité d'une spiritualité technologique dans l'époque de la post-modernité sécularisée. Pour les seconds, le virtuel représente une sorte de dangereux « voile de māyā » : d'une part simulacre de la réalité perçue, d'autre part boîte de Pandore productrice d'illusions et de chimères. L'idéalisation de l'immatérialité du numérique comporte, dans les deux cas, la transfiguration du virtuel dans son fétiche inanimé. Dans le premier cas il s'agit d'une *mythisation*, dans le second d'une *mystification*. Cette polarisation renvoie, d'ailleurs, au dualisme complémentaire que nous avons mis en lumière à propos du sonore (surévaluation métaphysique et dévalorisation ontologique).

La *mythisation* consiste à considérer le numérique comme une entité mystique. Grâce aux possibilités d'immersion sensorielle offertes par les nouveaux médias, nous pouvons accéder à une expérience extatique qui renvoie à la catégorie du sublime[44]. Notamment dans le cas de la réalité virtuelle ou de la réalité augmentée, les nouvelles technologies permettent, en effet, de réaliser l'expérience (apparement)

---

[43] « La réalité virtuelle ne fait que généraliser ce principe qui consiste à offrir un produit privé de substance, privé de son noyau de réel, de résistance matérielle » Slavoj ZIZEK, *Bienvenue dans le désert du réel* [2002], Paris, Flammarion, 2005, p. 30.

[44] « [A] key aspect of immersive virtual space is its immateriality, its capacity for containing three-dimensional representations of ideas or metaphors which cannot exist physically in the real world. This quality differentiates immersive virtual space from two-dimensional media such as painting, photography, film and video and also from three-dimensional media such as sculpture and theatre, in that its virtually embodied forms have no solidity. […] Such immateriality is heightened through the use of transparency and translucency and by enabling immersants to float through things, so that material barriers between self and world disappear. » Char DAVIES, "Osmose: notes on being in immersive virtual space" in Colin BEARDON, et al. (ed.), *Digital Creativity*, 9(2), Lisse, (Netherlands), Swets & Zeitlinger, 1998, p. 65-74. URL : http://www.immersence.com/publications/char/1998-CD-Digital_Creativity.html .

paradoxale d'une sensorialité détaché de la corporéité[45]. *Immersivité*, multisensorialité, interactivité, bien que toutes ces catégories rappellent la nature incarnée de la perception et des processus cognitifs, elles sont néanmoins employées pour évoquer, de façon hyperbolique, la transcendance numérique. Dans l'imaginaire le plus radical de l'art contemporain, le détachement de la peau, rendu possible par les bio-technologies, est envisagé également comme transition permettant une nouvelle étape évolutive de l'être humain[46]. De la même manière, les interfaces technologiques deviennent des objets chargés d'une aura mystique, capables d'évoquer une temporalité utopique dans laquelle le futur idéalisé, par le biais du progrès technique, converge avec la rêverie d'un passé mythique et non corrompu[47].

---

[45] « Synthetic stimuli are created artificially and presented to the user, but it is not necessary to affect all senses or involve the entire human body. Mental virtual presence represents a state of 'trance': engagement, expectations, the feeling of being part of the virtual world. In addition to physical and mental presence, some authors also define telepresence, the feeling of virtual presence in a geographically distant location. », Matjaž MIHELJ, Domen NOVAK et Samo BEGUŠ (dir.), *op. cit.*, p. 2.

[46] « La technologie d'invasion élimine la peau comme un site signifiant, une interface adéquate ou une barrière entre l'espace public et l'appareil physiologique. L'importance du cyber viendra peut-être de l'acte d'abandon de la peau par le corps » STELARC, "Vers le post-humain. Du corps esprit au système cybernétique" in AAVV, *Nouvelles de danse : Danse et nouvelles technologies*, Bruxelles, Contredanse, 40/41, 1999, p. 81.

[47] « Nous redécouvrons des attitudes, des langages fondamentaux de l'art, expressifs d'une réaction pérenne de l'homme face à l'univers où il s'étonne d'exister, s'exalte devant sa magie ou tombe en extase devant le virtuel qui évoque pour lui l'immatérialité de l'esprit […]. Plusieurs artistes en on fait le thème de leur création, telle Diana Domingues, au Brésil, qui crée des installations évoquant la magie afro-indienne primitive (*Snakes* et *Terrarium*). Immersion dans des grottes virtuelles (*Caves*), évocation, invocation, contrôle à distance, apparitions, métamorphoses, morphings, effets spéciaux sans effort : les algorithmes semblent avoir une puissance magique et les interfaces, les consoles de jeu, les écrans tactiles, les capteurs de mouvement, réveiller des forces mystérieuses » Hervé FISCHER, "Les beaux-arts numériques" in *Espace : Art actuel*, 92, 2010, p. 23. URL : http://id.erudit.org/iderudit/63033ac Consulté le 19/08/2017.

De l'autre côté du mur, la position des cyber-sceptiques se caractérise par une vision substantiellement nihiliste de la technique moderne ainsi que de leur utilisation dans le domaine de l'art[48]. Comme il a été souligné par Steve Dixon, les attaques les plus féroces à la montée inexorable des technologies numériques viennent particulièrement des courants post-modernes et post-structuralistes de la philosophie du XX^{e} siècle[49]. Dans ce contexte les technologies informatiques sont considérées comme le produit mature du capitalisme néolibéral : d'une part système avancé de contrôle, d'autre part, outil déshumanisant au service du marché globalisé. L'origine d'un tel anathème renvoie, par ailleurs, à la critique de la technique moderne menée par Martin Heidegger à partir de la célèbre opposition entre pensée méditante et pensée calculante[50].

1.3.2 L'hyper-réel, l'inhumain et la médiation : trois préjugés sur le virtuel

Mythisation et mystification constituent pourtant les deux faces d'un même processus d'idéalisation reflétant, d'ailleurs, la structure dualiste de la pensée métaphysique occidentale. Cette polarité est à la base d'une série d'oppositions qui caractérisent le débat autour de la notion de virtuel. Il est possible de les résumer en trois postulats majeurs[51], renvoyant tantôt aux critiques des techno-sceptiques tantôt aux éloges des technophiles :

1. Le virtuel s'oppose au réel;
2. Le virtuel s'oppose à l'humain;

---

[48] « In the twentieth century, it was art's turn to feel the impact of industrial repetition […]. The art of motor - cinematographic, video-computer graphic - has finally torpedoed the lack of motorization of the primary arts. […] Such motorization thus prefigures the disastrous virtualization of choreography, the grotesque dance of clones and avatars, the incorporeal saraband of some *choreographic* cyber-abstraction which will be to dance what the encoding of *digital* hyper-abstraction has already been to easel painting » Paul VIRILIO, *Art and Fear* [2000], London, Continuum, 2004, p. 94-95.

[49] Cf. Steve DIXON, *op. cit.*, p. 140.

[50] Martin HEIDEGGER, "La question de la technique" [1954] in *Essais et conférences,* Paris, Gallimard, 1993, p. 9-48.

[51] Cf. Armando MENICACCI, "L'enseignement de la danse face au numérique", in AAVV, *Nouvelles de danse : danse et nouvelles technologies*, *op. cit.*, p. 55-64.

3. Le virtuel s'oppose à l'immédiat.

Dans le premier cas, le virtuel est conçu comme simulation du réel, un simulacre illusoire capable de se substituer à la réalité phénoménale en vertu de sa capacité à produire des vraisemblances. Jean Baudrillard a été sans doute le premier à élaborer cette position, bien avant que le débat sur le virtuel en art éclate au milieu des années 1990 :

> « Aujourd'hui l'abstraction n'est plus celle de la carte, du double, du miroir ou d'un concept. La simulation n'est plus celle d'un territoire, d'un être référentiel, d'une substance. Elle est la génération par les modèles d'un réel sans origine ni réalité : l'hyperréel. […] C'est désormais la carte qui précède le territoire - *précession des simulacres*" […]. Le réel est produit à partir de cellules miniaturisées, de matrices et de mémoires, de modèles de commandement - et il peut être reproduit un nombre indéfini de fois à partir de là. […] C'est un hyperréel, produit de synthèse irradiant de modèles combinatoires dans un hyperespace sans atmosphère. […] Il s'agit d'une substitution au réel des signes, c'est-à-dire d'une opération de dissuasion de tout processus réel par son double opératoire »[52].

Ce n'est donc pas un hasard si le *virtuel* a été victime du même anathème philosophique lancé par l'épistémologie occidentale, au cours de l'époque moderne, contre la « gnoseologia inferior ». D'autre part, les pionniers de la réalité virtuelle ont souvent glorifié la possibilité, offerte par le numérique, de créer des environnements qui simulent la réalité en termes de "*résponsivité*" (due à l'utilisation des système de captation du mouvement de plus en plus sophistiqués) aussi bien qu'en termes "d'*immersivité*" (rendue

[52] Jean BAUDRILLARD, *Simulacres et simulation*, Paris, Éditions Galilée, 1981, p. 10-11. Cette position a été quelque part hérédité par Zizek, qui en élabore une version plus moderne : cf. Slavoj ZIZEK, *op. cit.*

possible par l'hyper-stimulation des dispositifs multimédia)[53]. Une deuxième implication liée à la diffusion massive des technologies informatiques consiste dans la terreur (ou dans l'exaltation) pour la "machinisation" du « monde de la vie », au sens husserlien du terme[54]. Il s'agit du vertige provoqué par la perte d'humanité, à la quelle on superpose l'inhumanité artificielle et parfaite de la machine :

> « La société des réseaux ne reproduit pas le temps […]. Elle le produit, le pulvérise, tout en exigeant un temps machinique spécifique et "dialogique", celui des manipulations, des simulations et d'une téléprésence mondialisée, propre à ces nouvelles machines abstraites et diagrammatiques, avec leurs images matricielles préalables et leur saisie éphémère. […] L'actualisation machinique des nouvelles technologies semble porter à son comble toutes les scissions antérieures du temps... Ephémère et conservé, pur devenir sans mémoire et pourtant entassant les données de l'information, subjectif et objectif, ce temps n'est pas humain au sens où il n'opère plus selon les rythmes biologiques de l'homme, qui se trouve de plus en plus soumis à une dislocation schizophrénique entre son réel existentiel et son virtuel écranique. »[55]

La survenance du *machinique* a été d'ailleurs vue, par de nombreux artistes, comme le signe de l'avènement glorieux de la post-humanité, dernière étape dans le processus de déconstruction post-moderne du paradigme anthropocentrique. Stelarc a été, sans doute, l'artiste qui a poussé cette vision

---

[53] En s'agissant des expressions techniques conçues au sein des arts numériques, j'utilise ici la translittération des mots anglais *responsivity* et *immersivity*. Le terme "*responsivité*" définit non seulement le degré de réaction d'un système de détection, mais, plus spécifiquement, la capacité du système à élaborer une réponse cohérente à l'*input*. L'expression "*immersivité*" est un terme élaboré dans le cadre de la réalité virtuelle pour dénoter la capacité du système de simuler, du point de vue sensoriel, l'expérience du réel en induisant, parfois, une sensation de complète immersion dans l'environnement synthétique. Cf. Matjaž MIHELJ, Domen NOVAK et Samo BEGUŠ, *op. cit.*, p. 12-13.

[54] Cf. Edmund HUSSERL, *La crise des sciences européennes et la phénoménologie transcendantale* [1954], Paris, Gallimard, 1989.

[55] Christine BUCI-GLUCKSMANN, *L'art à l'époque du virtuel*, Paris, L'Harmattan, 2003, p. 10-11.

radicale jusqu'à ses plus extrêmes conséquences[56]. La troisième problématique à laquelle nous avons fait référence concerne la question de la médiation. Bien que tous les instruments représente une forme de médiation, cette problématique émerge de manière prépondérante avec les médias du XXe siècle. Comme il a été remarqué par Marshall McLuhan déjà dans les années 1960, contrairement aux technologies traditionnelles, qui constituent des prothèses de notre apparat sensori-moteur, les médias du XXe siècle représenteraient une extension du système nerveux central[57]. En effet, le numérique introduit une extraordinaire possibilité de manipulation de l'information qui est potentiellement indépendante du corps ou au moins de notre implication kinesthésique, ce qui produit une opposition inédite entre expérience médiatisée et corporéité :

> « Le cyberspace est aujourd'hui un mode d'existence à part entière […] où l'Autre existe dans l'interface de la communication, mais sans corps, sans visage, sans autre toucher que celui du clavier de l'ordinateur, sans autre regard que celui de l'écran. […] Libéré des contraintes corporelles habituelles face à un monde simplifié dont les clés sont aisées à manipuler, le voyageur virtuel […], ressent physiquement un monde sans chair. […]. En dissociant le corps et l'expérience, en déréalisant le rapport au monde et en le transformant en relation à des données, le virtuel légitime aux yeux de maints internautes […] l'opposition radicale entre esprit et corps, aboutissant au fantasme d'une toute puissance de l'esprit »[58]

Ces trois problématiques majeures - déréalisation, déshumanisation et médiation - constituent l'axe

---

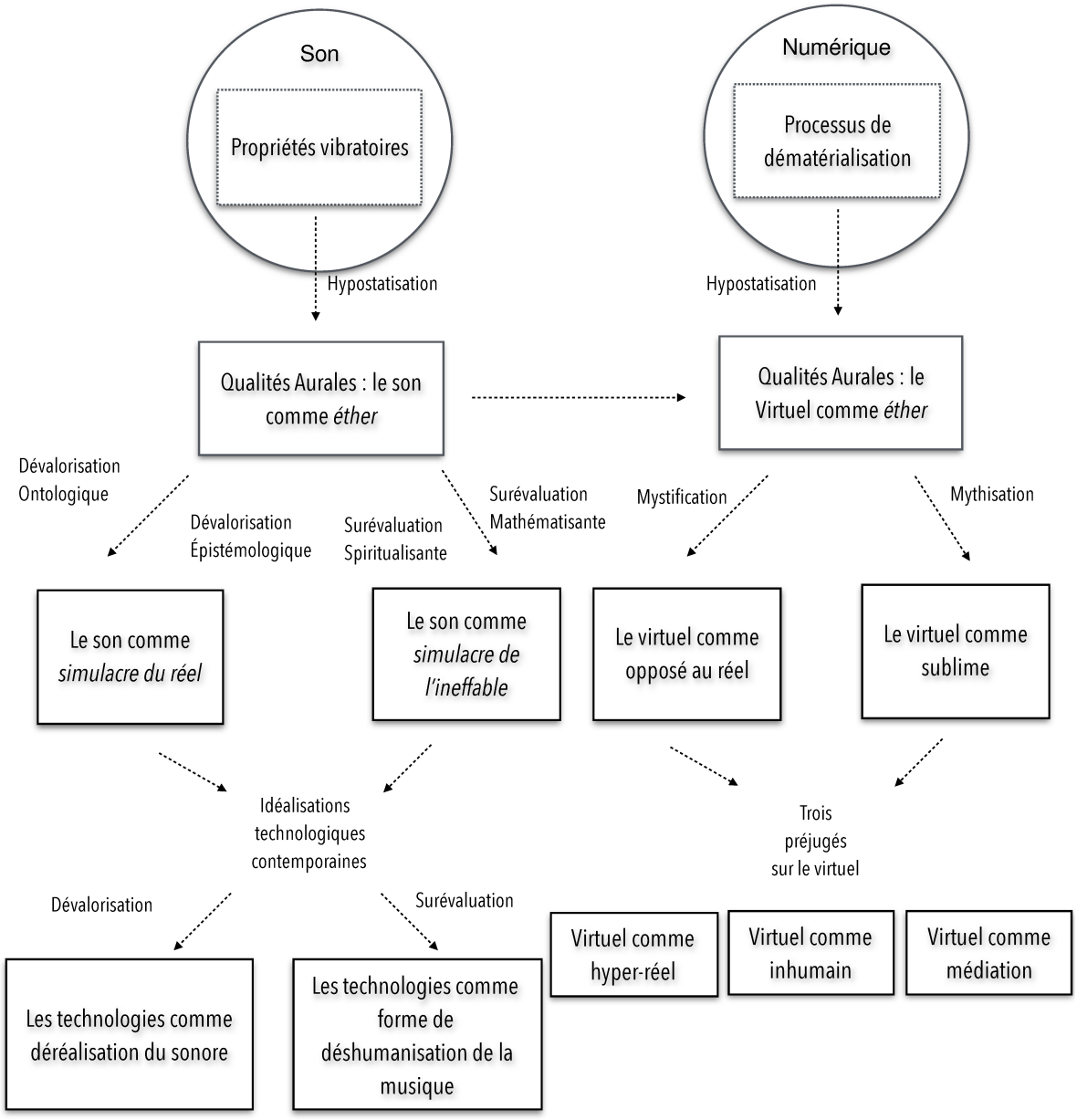
[56] « Il est nécessaire de repositionner le corps, du domaine psychique de la biologie vers la zone cybernétique de l'interface et de l'extension - du confinement génétique à l'extrusion électronique. Les stratégies qui conduisent au post-humain ont plus à voir avec l'effacement qu'avec l'affirmation […]. Les notions d'évolution de l'espèce et de distinction de genre sont replanifiées et reconfigurées en une hybridité alternée de l'homme-machine. Les distinctions métaphysiques désuètes entre le corps et l'âme ou le cerveau et l'esprit sont remplacées par l'intérêt pour la division des espèces de corps comme il est redéfini diversifié en formes et en fonctions. Le corps cybernétiques ne sont pas simplement attachés et prolongés mais ils sont également améliorés par des composantes implantés. » STELARC, "Vers le post-humain. Du corps esprit au système cybernétique", *op. cit.*, p. 80-81.

[57] Cf. Marshall MCLUHAN, *Pour comprendre les médias : les prolongements technologiques de l'homme* [1964], Paris, Seuil, 1977, p. 21-22.

[58] David LE BRETON, *L'adieu au corps*, Paris, Éditions Métailié, 1999, p. 139-141.

central du débat sur le virtuel. Le dernier postulat en particulier - le virtuel comme médiation - représente une question primordiale au sein du rapport entre technologie et arts vivants. Si les médias numériques nous permettent d'élargir remarquablement notre pouvoir représentatif ainsi que notre capacité de contrôle et de manipulation de la matière, ils constituent, d'autre part, une forme de suppression potentielle de l'originalité de l'expression humaine. Il s'agit en ce sens de questionner la présence (ou la non-présence) des entités numériques, ou encore de réfléchir autour des mécanismes de conversion qui s'interposent entre l'intentionnalité d'un *performeur* et les effets produits par le biais de l'interface.

Schéma 1


Son
Propriétés vibratoires
Hypostatisation
Numérique
Processus de dématérialisation
Hypostatisation
Qualités Aurales : le son comme *éther*
Qualités Aurales : le Virtuel comme *éther*
Dévalorisation Ontologique
Dévalorisation Épistémologique
Surévaluation Spiritualisante
Surévaluation Mathématisante
Mystification
Mythisation
Le son comme *simulacre du réel*
Le son comme *simulacre de l'ineffable*
Le virtuel comme opposé au réel
Le virtuel comme sublime
Idéalisations technologiques contemporaines
Trois préjugés sur le virtuel
Dévalorisation
Surévaluation
Les technologies comme déréalisation du sonore
Les technologies comme forme de déshumanisation de la musique
Virtuel comme hyper-réel
Virtuel comme inhumain
Virtuel comme médiation

1.4 La virtualité du réel

Dans les trois oppositions précédemment abordées, le virtuel se présente comme agent négatif du réel. À la fois considéré comme source d'apparences illusoires (déréalisation), incarnation du *machinique* (déshumanisation) ou bien comme forme d'altération de l'immédiat (médiation), le virtuel évoque la disparition de la réalité par le biais de la technique. Comme nous l'avons remarqué, cette perspective se base sur la valorisation du caractère immatériel des processus numériques de transformation de l'information. Dans ce contexte, la virtualisation est considérée comme une sorte de déformation de la réalité physique selon des modèles abstraits de simulation. Cette conception purement immatérielle du virtuel numérique, reflète, d'autre part, le dualisme épistémologique profond de la pensée occidentale.

Dans ce cadre la notion de virtuel est donc conçue en opposition à la corporéité. Avant de revenir sur les enjeux esthétiques du rapport entre art et technologies numériques, je voudrais donc essayer de réélaborer cette notion en présentant ses liens avec les processus d'organisation perceptive du mouvement. Par cela il faut ré-orienter la définition de "virtuel" en fonction d'une perspective incarnée. En d'autres termes, il s'agit de bouleverser la vision purement immatérielle des processus de virtualisation en leur donnant chair, en essayant de les penser comme processus incarnés, c'est-à-dire en résonance avec nos fonctions kinesthésiques et perceptives.

> « The content of perceptual experience is *virtual*. This point go beyond the proposal that the visual system utilizes virtual representations; the claim is that experiential content is itself virtual. According to the enactive approach, the far side of the tomato, the occluded portions of the cat, and the unseen environmental detail are present to perception virtually in the sense that we experience their presence because of our skill-based access to them. […] Phenomenologically speaking, *virtual* presence is a kind of presence, not a kind of non-presence or illusory presence. »[59]

Une telle perspective reflète d'ailleurs une tendance récente des sciences humaines et de certaines branches des sciences de la vie, qui considère la corporéité comme une forme d'organisation dynamique

[59] Alva NÖE, *Action in Perception*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2004, p. 67.

englobant les interactions avec l'environnement. Contrairement à la perspective traditionnelle de l'épistémologie occidentale basée sur la passivité de la sensation et sur le dualisme corps/esprit, l'approche incarnée tend à souligner l'enracinement corporel des processus cognitifs[60], l'entrelacement biunivoque entre action et perception[61] ainsi que la relation cruciale de l'organisme vivant avec son milieu opératif et existentiel[62].

Afin de traiter la relation entre "virtualité" et organisation perceptive du mouvement, j'adopterai une approche phénoménologique. Le point de départ de notre réflexion sera une des notions centrales de la philosophie du dernier Merleau-Ponty, c'est-à-dire le concept de *chiasme*. Dans le *Visible et l'invisible*, Merleau-Ponty définissait la vision comme une forme de « palpation par le regard »[63]. Cette définition, d'ailleurs très emblématique de l'ontologie merleau-pontienne, nous permet d'aborder trois formes de virtualisation qui intéressent, de près, les processus d'organisation perceptive. J'essaie de les définir sous forme de postulats :

1. La perception est virtualisation par réversibilité entre activité et passivité
2. La perception est virtualisation du mouvement
3. La perception est virtualisation du système sensoriel

1.4.1 L'entrelacement de l'activité et de la passivité au sein de la sensation

Essayons de préciser le premier aspect. Tout d'abord le mot "palpation" nous renvoie à une action intentionnelle, une découverte tactile du monde sensible qui passe par une manipulation active. Comparer le regard à une forme de palpation signifie redéfinir le statut de la sensation, non pas comme produit passif de la pression externe du monde sur nos organes sensoriels, mais comme entrelacement d'activité et de

---

[60] John M. Krois et al. (dir.), *Embodiment in cognition and culture*. Amsterdam, John Benjamins Publishing, 2007.

[61] Alva Nöe, *op. cit.*

[62] Cf. Alain Berthoz et Yves Christen (dir.), *Neurobiology of "Umwelt". How living beings perceive the world*, Berlin, Springer-Verlag, 2009.

[63] Maurice Merleau-Ponty, *Le visible et l'invisible*, Paris, Gallimard, 1964, p. 173.

passivité[64]. Toute perception demeure alors dans un régime de réversibilité constante entre action et réception, entre horizons extérieurs et horizons intérieurs. Cela s'exprime dans la correspondance biunivoque entre « le sentiment passif du corps et de son espace - et […] un véritable toucher du toucher, quand ma main droite touche ma main gauche en train de palper les choses, par lequel le sujet touchant passe au rang de touché »[65]. Par ce mécanisme, que Merleau-Ponty appelle *chiasme*, actif ou passif ne sont que des actualisations temporaires et instables d'un processus de virtualisation du corps qui opère sans cesse, et qui implique, par extension, l'écosystème du sensible : « le corps senti et le corps sentant sont comme l'envers et l'endroit, ou encore, comme deux segments d'un seul parcours circulaire […]. Tout ce qu'on a dit du corps senti retentit sur le sensible entier dont il fait partie, et sur le monde. […] Le corps […] s'incorpore lui-même à un "Sensible en soi" »[66]. Selon Michel Bernard, la particularité de ce genre de chiasme, qu'il défini comme *intrasensoriel*, réside dans la double dimension simultanée, active et passive en même temps, du tout sentir. Ce principe, loin d'être le résultat d'une expérience exceptionnelle, est «immanent au fonctionnement de chaque organe [et] désigne le fait paradoxal d'être à la fois et de façon réversible actif et passif, c'est-à-dire, par exemple, voyant-vu, touchant-touché, entendant-entendu, etc.»[67]. Ce modèle de correspondance croisée peut être utilisé comme structure paradigmatique pour comprendre nos processus d'organisation perceptive. Nous pouvons parler, à ce propos, de « fonctionnement chiasmatique généralisé de nos sens et de toute notre corporéité »[68].

---

[64] La physiologie moderne vient de démontrer, d'ailleurs, que le fonctionnement des récepteurs sensoriels comporte autant de fonctions actives que de fonctions passives. Parmi les processus actifs on trouve par exemple les fonctions prédicatives liées au à la mesure des « dérivées (vitesse, accélération, changement de force et de pression) des grandeurs physiques qui les activent ». Les capteurs sensoriels sont en outre capables de moduler leur sensibilité en modifiant la qualité de l'information et en conférant « des propriétés plus toniques ou plus dynamiques » selon le contexte. Cf. Alain BERTHOZ, *Le sens du mouvement*, Paris, Odile Jacob, 1997, p. 15.

[65] Maurice MERLEAU-PONTY, *Le visible et l'invisible*, *op. cit.*, p. 174.

[66] *Id.*, p. 179-180.

[67] Michel BERNARD, *De la création chorégraphique*, Pantin, Centre National de la Danse, 2001, p. 90.

[68] *Id.*, p. 96.

1.4.2 La perception comme projet moteur

« Palper à travers le regard » renvoie également à une sorte de projection à distance de mon pouvoir de manipuler les choses. La réversibilité du visible et du voyant impliquent alors une deuxième forme de virtualisation du corps, celle du mouvement. Lorsque nous percevons quelque chose nous sommes en train "d'aller" vers les choses elles-mêmes. En ce sens, la perception est déjà une action[69]. Pour le dire comme Alain Berthoz, elle est précisément « une action simulée »[70]. Avant même de bouger réellement dans l'espace du visible, notre entier apparat sensori-moteur est impliqué dans un processus de vérification des attentes produites par des modèles internes. D'un point de vue strictement neurophysiologique, le cerveau anticipe les conséquences des actions[71]. Percevoir c'est alors projeter des hypothèses d'action dans le monde. Le rapport entre perception, mouvement et fonctions cognitives se configure en ce sens comme une relation, elle aussi, de réversibilité sans cesse. Il s'agit d'un régime d'échange continu entre le *feedforward* (la projection des hypothèses d'action) et le *feedback* (la vérification sensorielle de ces hypothèses) impliquant des allers-retours constants entre stimuli qui vont des effecteurs musculaires vers le système nerveux et les récepteurs sensoriels. Lorsque les informations sensorielles se produisent elles sont comparées à partir de modèles internes qui déterminent des impulsions correctives de l'énergie musculaire. Les données sensorielles ne sont pas traitées afin d'extraire des informations quantitatives concernant les phénomènes. Selon une perspective écologique, elles sont interprétées comme configurations, ayant une signification pertinente. Ces configurations sont comparées avec les modèles internes à partir desquels on réalise des *feedforwards* projectifs qui prédisent l'action. Dans le geste naturel d'attraper quelque chose,

---

[69] Comme il a été argumenté par Alva Nöe : « Perceiving is a way of acting. Perception is not something that happens to us, or in us. It is something we do. […] The world make itself available to the perceiver trough physical movement and interaction. […] Perceptual experience acquires content thanks to our possession of bodily skills. *What we perceive* is determined by *what we do* (or what we know how to do); it is determined by what we are *ready* to do. » Alva Nöe, *op. cit.*, p. 1.

[70] Alain Berthoz, *Le sens du mouvement*, *op. cit.*, p. 17.

[71] Cela ne signifie pas que le mouvement est le résultat mécanique d'un processus décisionnel. L'action est plutôt anticipée dans le cerveau sous forme de *virtuel* : « Il signifie que c'est l'ensemble de l'action qui est joué dans le cerveau par des modèles internes de la réalité physique qui ne sont pas des opérateurs mathématiques mais des vrais neurones dont les propriétés de forme, de résistance, d'oscillation, d'amplification, font partie du monde physique, sont accordées au monde extérieur » *Id.*, p. 28.

nous n'analysons pas les informations sensorielles liées à l'objet, à l'image d'un cerveau-ordinateur. Nous arrivons à saisir quelques chose parce que l'ensemble des signaux sensoriels, constituant le geste *en train de se faire,* « conviennent à une configuration prédite, attendue, spécifiée avant d'ébaucher le geste »[72]. En ce sens, la simulation interne du mouvement est une opération incarnée, une forme de catégorisation perceptive de l'espace qui se base sur l'ensemble de nos attitudes posturales, sur la qualité des réactions de nos muscles gravitaires, et plus en profondeur sur la réponse subjective et existentielle de notre apparat proprioceptif. Cette dimension, que Hubert Godard appelle *pré-mouvement*[73], est le fond invisible (et souvent involontaire) sur lequel se dessine le mouvement visible. Cette projection, cette virtualisation motrice du corps dans l'espace s'enracine dans la co-appartenance de la corporéité et du visible au *Sensible*[74] :

> « Mon corps mobile compte au monde visible, en fait partie, et c'est pourquoi je peux le diriger dans le visible. […] Que serait la vision sans aucun mouvement […], s'il n'avait pas ses antennes, sa clairvoyance, si la vision ne se précédait en lui ? Tous mes déplacements par principe figurent dans un coin de mon paysage, sont reportés sur la carte du visible. Tout ce que je vois par principe est a ma portée, au moins à la portée de mon regard, relevé sur la carte du « je peux ». Chacune des deux cartes est complète. Le monde visible et celui de mes projets moteurs sont des parties totales du même Être. »[75]

---

[72] *Id.*, p. 18.

[73] Hubert GODARD, "Le geste et sa perception" in Isabelle GINOT et Marcel MICHEL (dir.), *La danse au XXe siècle*, Paris, Larousse, 1998, p. 224-229.

[74] On pourrait nommer cette "Sensible" comme *chair*, selon le lexique philosophique de Merleau-Ponty. Il faut néanmoins préciser que cette "chair" ne se refait pas au corps en tant qu'existence concrète et individuelle. La chair merleaupontienne désigne plutôt la dimension transcendantale du sensible, la condition de possibilité de toute perception. Sur ce sujet je renvoie le lecteur à Mauro CARBONE, *La chair des images*, Paris, VRIN, 2011, p. 19-45.

[75] Maurice MERLEAU-PONTY, *L'oeil et l'esprit* [1961], Paris, Gallimard, 1985, p. 16-17.

1.4.3 La multimodalité de la perception

La troisième forme de virtualisation réside dans l'interaction entre les divers organes sensoriels. Contrairement à la tradition scientifique et philosophique de l'épistémologie occidentale, les études récentes sur notre apparat sensoriel semblent désormais s'accorder sur le fait que la perception est, par essence, multisensorielle[76]. De nombreuses fonctions de l'organisme vivant[77], et particulièrement celles qui impliquent la dimension kinesthésique, se basent sur une forme de contrôle multisensoriel des signaux endogènes[78]. Cela s'explique par le fait que les interactions multisensorielles augmentent le pouvoir prédictif du cerveau en produisant un système de redondances qui facilitent l'accomplissement d'une tâche motrice. Même dans ce cas, les *inputs* (les entrées au sens informatiques du terme) provenant de l'écosystème sont interprétées comme configurations évoquant une signification pertinente. En ce sens, si « la transduction des grandeurs physiques (lumière, son, pression, etc.) répond à des questions préexistantes que le système nerveux pose au monde »[79] c'est parce que la plupart des stimuli sensoriels se produisent dans un régime d'intégration constante et réciproque. D'un point de vue neurophysiologique, de nombreuses recherches ont démontré comment certaines aires du cerveau, et notamment celles qui

---

[76] Cf. Marcus J. NAUMER et Jochen KAISER (dir.), *Multisensory Object Perception in the Primate Brain*, New York, Springer, 2010.

[77] Les études principales sur ce sujet ont été conduites sur les primates (notamment l'être humain tout au long de son ontogenèse, et les singes) et sur d'autres espèces de mammifères.

[78] Des fonctions élémentaires comme par exemple le fait même d'être debout, ou la perception de la distance, sont rendues possible par l'interaction des différents canaux sensoriels comme le système vestibulaire, le système optocinétique, et les fuseaux neuro-musculaires. Cf. Alain BERTHOZ, *Le sens du mouvement*, *op. cit.*, p. 50-51 et 242-243.

[79] *Id.*, p. 50.

correspondent colliculus supérieur[80], sont en mesure de produire des réponses complexes comme résultats de l'interaction des différentes stimulations sensorielles. Un tel phénomène est rendu possible grâce à la présence de neurones, dits multisensoriels, capables de répondre à différents stimuli (visuels, auditifs et somato-sensoriels)[81]. À travers ces processus d'intégration, une certaine stimulation sensorielle (ex. un stimulus acoustique) peut affecter la perception d'un autre stimulus (ex. un stimulus lumineuse) en produisant des effets de convergence ou de divergence multimodale. La littérature scientifique nous indique que les réponses comportementales aux stimuli multimodaux sont plus rapides et plus précises par rapport aux stimuli unimodaux. Ce phénomène appelé « renforcement multisensoriel » [*multisensory enhancement*] est le résultat du caractère redondant, réciproque et répétitif des stimuli. L'efficacité des ces interactions est réglée par trois principes élémentaires. 1. Le *principe de proximité temporelle* : les stimuli qui se produisent dans une laps temporel de 100 ms ont plus de probabilité de stimuler une intégration. 2. Le *principe de proximité spatiale* : la probabilité de déclenchement d'un intégration multimodale est inversement proportionnelle à la distance des sources générant les stimuli. 3. Le principe, appelé *inverse effectiveness*

---

[80] Le colliculus supérieur est une partie du cerveau consacrée à l'intégration des informations multimodales. Il est composé de trois couches (superficielle, intermédiaire et profonde) capables des recevoir des stimuli visuels, acoustiques et somatiques. Il est également lié aux mécanismes moteurs. Dans les couches profondes les neurones se projettent vers le tronc cérébral et la moelle en induisant, par exemple, le mouvement oculaire vers un cible et le mouvement d'orientation de la tête. Cela est la conséquence du fait que le couches superficielles des cartes sensorielles et des cartes motrices se superposent dans le même registre. Le colliculus est, en outre, consacré à la détection de la nouveauté. Il fonctionne à partir de champs récepteurs, c'est-à-dire des régions de l'espace visuel, qui déterminent l'efficacité du stimulus. La répétition du même mouvement vers une cible réduit en effet l'activation de cette région. L'attention produit, au contraire, une augmentation de la réponse en suggérant le caractère essentiellement actif de la perception. Même si chaque carte sensorielle présente des champs récepteurs propres, les trois cartes (optique, acoustique et somatique) partagent les mêmes neurones. Cette structure du colliculus favorise la production d'une cohérence de la représentation qui simplifie considérablement la mise en correspondance des espèces de capteurs pour permettre une orientation rapide et unique, orientée vers un but. Cf. *Id.*, p. 85-101.

[81] Je renvoie le lecteur à la première étude expérimentale qui a été conduite sur ce sujet, Alex MEREDITH et Barry STAIN, "Visual, auditory and somatosensory convergence on cells in superior colliculus results in multisensory integration" in *Journal of Neurophysiology*, 56, 1986, p. 640-662.

effect (effet de l'efficacité inverse) : la puissance et l'efficacité d'un stimulus unimodal sont inversement corrélés à la croissance de la réponse multimodale[82].

Les interactions entre les différentes aires sensorielles ne se limitent pas aux seuls phénomènes d'intégration des signaux exogènes. Revenons une dernière fois à la phrase de Merleau-Ponty. La « vision comme palpation par le regard », nous parle du fait que tout voir réveille en nous un écho tactile ou moteur qui se manifeste par résonance ou par analogie. En s'écartant du point de vue purement neurophysiologique, nous pouvons affirmer qu'il y a non seulement intégration multimodale entre stimuli sensoriels mais aussi une forme de correspondance, ou de résonance. Ce processus qui permet de virtualiser un certain stimulus sensoriel dans une autre modalité est appelé par Bernard *chiasme intersensoriel*. Il s'agit d'une sorte de sensation "seconde", virtuelle, qui est évoquée par ma sensation actuel sur la base d'un tissu commun qu'entrelace mon corps avec l'écosystème sensible qui m'entoure :

« Comme de longs échos qui de loin se confondent
Dans une ténébreuse et profonde unité,
Vaste comme la nuit et comme la clarté,
Les parfums, les couleurs et les sons se répondent. »[83]

En activant les processus de valorisation imaginative qui sont à la base de notre organisation perceptive, cette correspondance croisée des mes sensations - très concrète et très élusive au même temps - permet parfois d'entendre le son des objets ou de voir la forme ou la couleur qui émerge d'un stimulus acoustique.

---

[82] Cf. Alexandra Fort et Marie-Hélène Giard, "Multiple Electrophysiological Mechanism of audiovisual integration in human perception" in Gemma A. Calvert, Charles Spence et Barry E. Stein (dir.), *The handbook of multisensory processes*, Cambridge (Massachusetts), Bradford Book, 2004, p. 503-513 ; Barry E. Stein, Terrence R. Stanford, et Benjamin A. Rowland, "The Neural Basis of Multisensory Integration in the Midbrain: Its Organization and Maturation" in *Hearing Research*, 258(1-2), 2009, p. 4–15 ; Barry E. Stein et Benjamin A. Rowland, "Organization and plasticity in multisensory integration: early and late experience affects its governing principles" in Andrea M. Green, Elaine Chapman, John F. Kalaska et Franco Lepore (dir.), *Enhancing Performance for Action and Perception. Multisensory Integration, Neuroplasticity and Neuroprosthetics*, Part I, Amsterdam, Elsevier, 2011, p. 145-163.

[83] Charles Baudelaire, "Correspondances" in *Oeuvres complètes*, Paris, Gallimard, 1980.

Il s'agit de cette sensation de doublement et de résonance, que les compositeurs et les poètes connaissent depuis longtemps, et à la quelle Luigi Nono, peut être, fait référence lorsqu'il décrit le chant inaudible des pierres blanches et rouges de Venise[84]. Cette double sensation, en surgissant comme du fond de notre enracinement originaire au Sensible, n'est pas un simple reflet de ma sensation primaire, mais en est la réfraction. À partir d'un jeu d'interférences, la sensation auditive qui entoure ma vision actuelle, module le regard, en en déformant les contours. Elle ajoute une forme de présence spécifiquement sonore à la perception visuelle en créant une sorte d'imaginaire seconde :

> « La production, au sein de la sensation visuelle, d'un simulacre autre, hybride et singulier, déterminé par la dynamique projective particulière de la réception auditive à la fois plus diffuse, plus subtile et surtout entièrement temporalisée. L'oreille impose à l'œil la nouvelle fiction étrange d'un visible insolite qui est paradoxalement à ouïr. »[85]

1.5 La corporéité et le virtuel

Notre organisation perceptive présente, dans son fonctionnement général, certains processus de virtualisation qui font référence au principe du chiasme. Chaque sensation, la plus élémentaire, implique l'entrelacement d'activité et de passivité, la projection kinesthésique du corps fictif et le croisement interactif des diverses modalités sensorielles. Tous ces processus sont à la base du surgissement d'un « reflet virtuel » ou « simulacre » qui émerge « en quelque sorte "en creux" ou "en abyme", au sein de notre corporéité » en témoignant « la présence d'une altérité fictive et anonyme »[86]. Cette altérité fictive peut être défini comme *corps virtuel*, à la fois reflet fictif et état potentiel du corps actuel. Ces deux entités, le corps actuel, qui

---

[84] Luigi NONO, *Scritti e colloqui. Volume II*, textes établis par Angela I. DE BENEDICTIS et Venerio RIZZARDI, Lucca, Ricordi-LIM, 2001, p. 295.

[85] Michel BERNARD, *De la création chorégraphique*, *op. cit.*, p. 93

[86] *Id.*, p. 99. Comme il a été d'ailleurs remarqué par Gilles Deleuze : « Tout actuel s'entoure d'un brouillard d'images virtuelles. Ce brouillard élève de circuits coexistants plus ou moins étendus, sur lesquels les images virtuelles se distribuent et courent. […] Les images virtuelles ne sont pas plus séparables de l'objet actuel que celui-ci de celles-là. Les images virtuelles réagissent donc sur l'actuel. » Gilles DELEUZE, "L'actuel et le virtuel", in *Dialogues*, Paris, Flammarion, 1996, p. 178-179.

incarne l'action, et le corps virtuel, qui en est l'image déformée, mais aussi la condition transcendantale, sont les deux pôles d'une négociation constante qu'on peut appeler *corporéité*[87]. Selon Michel Bernard, la corporéité s'oppose de manière radicale à la notion de corps-organisme, soit qu'elle désigne le corps anatomique de la physiologie, soit qu'elle évoque le corps propre de la tradition phénoménologique[88]. En s'opposant à la notion de corps en tant qu'entité stable, le paradigme de la corporéité évoque l'organisation dynamique des processus perceptifs. Un plan d'immanence[89] dirait Deleuze, une circulation énergétique rhizomatique (et donc multiple) qui se canalise par des phénomènes de coagulation, d'accumulation et de sédimentation (l'action actuelle, le mouvement concret, le geste). Ces formes de coagulations, imposent à la corporéité des fonctions, des organisations dominantes et hiérarchisées (le corps comme système organique, le corps comme entité psychique, ou encore, le corps comme objet de la représentation socio-culturale). Toutes ce formes d'actualisation empiriques (ou conceptuelles) s'inscrivent dans une trame « d'axes et des vecteurs, des gradients et des seuils, des tendances dynamiques avec mutation d'énergie, de mouvements cinématiques »[90]. À cet égard, il convient de noter que cette notion renvoie, quelque part, au

---

[87] Dans la suite, nous allons nommer ces deux déclinaison du corps virtuel avec les termes "corps subtil", pour définir les mécanismes projectifs liés à la composition du mouvement, et "anatomie virtuelle" pour dénoter le dispositif général de variation régissant l'organisation perceptive du mouvement. On y reviendra dans le prochain chapitre. Cf. *infra*, p. 79-91.

[88] « En dépit de l'apparente identité de sa structure anatomique et de son fonctionnement physiologique, le corps est un réseau sensori-moteur instable d'intensités, soumis aux fluctuations d'une double histoire symbolique: celle de la culture à laquelle il appartient et celle de la singularité événementielle et contingente de sa propre existence. […] La corporéité ne désigne que la fonctionnement matériel réticulaire de notre système sensoriel et non le "remplissage originaire" d'une conscience noétique ou son rapport primordial au monde». En ce sens la notion de corporéité s'oppose tantôt au « déterminisme organique du corps anatomique traditionnel » tantôt à « son travestissement psychique et phénoménologique du "corps propre" », *Id.*, p. 86-87 et 117. Il convient de noter qu'une telle définition de *corporéité* avait déjà été esquissée par l'auteur dans son œuvre principale : Michel BERNARD, *Le corps*, Paris, Editions Universitaires Jean Pierre Delarge, 1976.

[89] « Le plan d'immanence comprend à la fois le virtuel et son actualisation, sans qu'il puisse y avoir de limite assignable entre les deux. L'actuel est le complément ou le produit, l'objet de l'actualisation, mais celle-ci n'a pour sujet que le virtuel. L'actualisation appartient au virtuel. L'actualisation du virtuel est la singularité, tandis que l'actuel lui-même est l'individualité constituée », Gilles DELEUZE, "L'actuel et le virtuel", *op. cit.*, p. 180-181.

[90] Gilles DELEUZE et Felix GUATTARI, *Milles plateaux. Capitalisme et schizophrénie*, Paris, Éditions de Minuit, 1980, p. 190.

concept de *corps sans organes* (*CsO*) formalisé par Deleuze et Guattari au début des années 1970[91]. La notion de *CsO*, inspirée à son tour du théâtre de la cruauté d'Antonin Artaud[92], décrit la résistance des processus de virtualisation (ou du désir, pour utiliser le lexique deleuzien) à la normalisation de la structure, évoque l'insurrection nomadique du corps virtuel contre la cartographie stationnaire du corps-organisme :

> « Si le CsO est une limite, si l'on n'a jamais fini d'y accéder, c'est parce qu'il y a toujours une strate derrière une autre strate, une strate encastrée dans une autre strate […]. Défaire l'organisme [est] ouvrir le corps à des connexions qui supposent tout un agencement, des circuits, des conjonctions, des étagements et des seuils, des pas sages et des distributions d'intensité, des territoires et des déterritorialisations mesurées »[93]

Cette définition du *CsO* nous permet de mieux préciser la double phylogenèse du corps virtuel, d'un côté reflet qui surgit au sein de notre système sensoriel, et de l'autre, condition de possibilité de l'actuel. Cette distinction nous renvoie aux deux déclinaisons du virtuel : le virtuel comme nature projective et le virtuel comme transcendantal. Dans le premier cas le corps virtuel est le résultat des processus de transduction du corps physique selon des mécanismes projectifs (projection de la réception dans l'action, projection dans l'espace, projection d'une certaine sensation dans un autre champ sensoriel). Ces processus de virtualisation évoquent la dimension *fictionnaire* qui règle l'interaction entre fonctions cognitives supérieures et système sensoriel. Selon Bernard, ces processus reposent substantiellement sur un principe de simulation, principe qu'il décrit comme : « jeu spéculaire de dédoublement fictif » opérant « à tous les niveaux et dans toutes les

---

[91] Bien que les premières références à cette notion se trouvent déjà dans la *Logique du sens* (ouvrage écrit par le seul Deleuze), c'est seulement avec l'*Anti-Œdipe* que ce concept est utilisé de manière systématique : cf. Gilles DELEUZE et Felix GUATTARI, *L'anti-Œdipe. Capitalisme et schizophrénie*, Paris, Éditions de Minuit, 1972.

[92] « L'homme est malade parce qu'il est mal construit. / Il faut se décider à le mettre à nu pour lui gratter/ […] Lorsque vous lui aurez fait un corps sans organes,/ alors vous l'aurez délivré de tous ses automatismes/ et rendu à sa véritable liberté./ Alors vous lui réapprendrez à danser à l'envers/comme dans le délire des bals musette/ et cet envers sera son véritable endroit. » Antonin ARTAUD, *Pour en finir avec le jugement de dieu* [1948], Paris, Gallimard, 2003, p. 60-61.

[93] Gilles DELEUZE et Felix GUATTARI, *Milles plateaux. Capitalisme et schizophrénie*, *op. cit.*, p. 197.

régions du système sensoriel »[94]. Ici le corps virtuel est le double fictif qui entoure chaque acte perceptif, le simulacre inaliénable de toute sensation actuelle.

Cette définition nous permet de revenir sur la notion de simulacre pour en bouleverser la signification. Nous avons affirmé que le son a été traditionnellement conçu comme simulacre renvoyant à la notion d'éther, selon une conception purement idéalisée du phénomène acoustique. En même temps, la définition péjorative du virtuel numérique, qui apparaît vers la fin des années 1980, fait référence au simulacre comme quelque chose qui reproduit de manière illusoire et abstraite la réalité physique (simulation chimérique, produit de l'inhumaine machine ou forme aliénante de médiation). Or, les réflexions que j'ai proposées autour de la sensation et de la corporéité nous montrent au contraire qu'il faut entendre le virtuel d'avantage comme structure *fictionnaire* généralisée de notre système sensoriel, et non pas comme reflet d'une réalité immatérielle opposée au réel. En ce sens, le corps virtuel est une simulation mais pas au sens d'une reproduction fallacieuse du monde physique. Le corps virtuel est *l'extension des processus de catégorisation perceptive au-delà des limites du corps actuel*. Il s'agit pourtant d'une simulation incarnée qui implique la projection de mon système sensori-moteur dans l'écosystème sensible qui m'entoure. Le simulacre dont on parle est un fragment opaque qui émerge, aussi bien de manière latente, du fond de ce milieu sensible qu'on appelle corporéité.

1.6.1 Le corps virtuel comme plan transcendental du mouvement

Cette première phylogenèse - le virtuel comme simulacre "émergent" des processus perceptifs - nous renvoie à une deuxième phylogenèse impliquant le fait que le mouvement, en tant qu'action actuelle dans l'espace du visible n'est pas que le point de conjonction des différents espaces virtuels qui en constituent la condition de possibilité. En ce sens, le geste visible n'est que l'épiphénomène empirique exhibant une constellation des virtualités simultanées toujours en train de déboucher à la limite de notre horizon perceptif :

> « Dans notre chair comme dans celle des choses, le visible actuel, empirique, ontique, par une sorte de repliement, d'invagination, ou de capitonnage, exhibe une visibilité, une possibilité qui n'est pas l'ombre de

[94] Michel BERNARD, *De la création chorégraphique*, *op. cit.*, p. 99.

l'actuel, qui en est le principe […] un horizon intérieur et un horizon extérieur, entre lesquels le visible actuel est un cloisonnement provisoire »[95]

En accord avec cette deuxième déclinaison, le corps virtuel peut être défini comme le plan transcendantal du mouvement[96]. Cette définition n'implique pas seulement les conditions matérielles d'apparition de l'action actuelle. Le virtuel comme transcendantal renvoie aux multiples plans d'existences qui nous apercevons, de manière toujours opaque, lorsqu'un geste ou une action prennent corps dans l'espace. En ce sens le geste actuel n'est pas simplement l'actualisation d'un geste possible. Selon cette perspective, le geste est également le déclencheur d'un processus de virtualisation qui ouvre sur la valorisation imaginative du mouvement.

---

[95] Maurice MERLEAU-PONTY, *Le visible et l'invisible*, *op. cit.*, p. 179.

[96] Il me semble opportun de souligner que l'usage que je fais de l'expression "transcendantal" ne se réfère pas à la définition kantienne mais plutôt au concept deleuzien de "plan". Si pour Kant le transcendantal identifie le condition de possibilité "a priori" de toute synthèse passive (en s'identifiant pourtant avec les catégories spatio-temporelles), pour Deleuze et Guattari, le plan est le lieu de la simultanéité. Si pour Kant la condition spatio-temporelle est quelque chose qui précède l'intuition, pour Deleuze et Guattari, le plan est une condition de possibilité qui s'instaure au cœur du processus d'actualisation. Dans le premier cas on a une succession temporelle, dans le deuxième une sorte de co-existence. Cf. Immanuel KANT, *Critique de la Faculté de Juger* (1790), Paris, Aubier, 1995, voir en particulier les p. 99-109 ; Cf. Gilles DELEUZE et Felix GUATTARI "Le plan d'immanence" in *Qu'est ce que la philosophie*, Paris, Éditions de Minuit, 1991, p. 38-59.

L'exemple de la corporéité dansante, permet de mieux comprendre cette dimension de "virtualité" qui accompagne la composition du mouvement[97]. Lorsqu'en tant que spectateurs nous regardons en tant que spectateurs le danseur faire un geste, nous ne percevons pas seulement le mouvement d'un membre : nous sommes en train de découvrir une trajectoire qui délimite et modifie l'espace du visible. De la même manière, le déplacement n'est pas la traversée d'un lieu vide, mais la construction d'un environnement dans lequel le corps habite. Cet « espace sentant » n'existe pas avant le mouvement mais il co-naît à travers la corporéité du danseur. Avant même de considérer la sémiotique culturelle du geste dansé, chaque mouvement évoque un corps fictif qui s'installe dans le point de convergence de l'imaginaire et du visible. Même dans l'immobilité la plus imperturbable, la corporéité dansante exprime tout d'abord une modulation temporelle et rythmique de l'espace. Le corps virtuel est alors un flux qui émerge des microdifférences ou des légères distorsions qui affectent les opérateurs de la pragmatique corporelle (geste, posture, orientation, attitudes, déplacement, mimiques, vocalités, etc.) :

> « Si la corporéité dansante est bien une dynamique de métamorphose incessante déterminée conjointement par un jeu auto-réflexif permanent de tissage et détissage de la temporalité et de défi de la gravitation, […] la diversité et l'intensité des sensations produites par la mobilité du danseur, les multiples formes posturales et gestuelles de sa lutte avec les forces graviterais, les fluctuations de ses pulsions et de ses affects constituent la source d'"une kinesphère fictive" qui surdétermine la kinesphère visible »[98]

---

[97] Selon Laurence Louppe, les pratiques de la danse au XX[e] siècle se caractérisent d'ailleurs par la rupture radicale avec la vision traditionnelle du corps. Louppe propose d'interpréter la corporéité de la danse contemporaine comme une structure poreuse capable d'englober et, en même temps, de révéler un langage, une imaginaire ou des états affectifs. Dans ce cadre le corps n'est pas considéré comme une entité stable, mais plutôt comme une matière qui peut être modelée et transformée en partant de la prise de conscience des processus perceptifs qui régissent l'organisation du mouvement. En ce sens le corps devient un corps «objet» et « sujet », un corps « pratique » et « sensible », un corps « conteneur » et « pont », un corps « métaphore » et « poésie », un corps à composer. Comme le précise Laurence Louppe, «pour réinventer des corps, la danse contemporaine a commencé par en repenser l'anatomie et la redistribuer, tout aussi bien que les fonctions ». Cf. Laurence LOUPPE, *La poétique de la danse contemporaine*, Bruxelles, Contredanse, 1997.

[98] Michel BERNARD, *De la création chorégraphique*, op. cit., p. 99-100.

Cette double tension entre la kinesphère visible et la kinesphère fictive, cette négociation instable et toujours renouvelée entre actualisation et virtualisation du mouvement, est ce que produit la *présence* d'un *performeur*[99] sur scène. Plus précisément, un *performeur* est capable d'exhiber une présence lorsqu'il devient conscient de ce jeux d'interférences qui règlent le rapport entre son corps actuel et son corps virtuel, lorsqu'il arrive à rendre visible cette oscillation, cette tension, entre le mouvement physique, ses conditions d'actualisation et ses trajectoires imaginaires. En ce sens, on pourrait dire de la corporéité dansante, ce que Deleuze et Guattari disaient à propos du *CsO*, à savoir qu'elle « ne cesse d'osciller entre les surfaces qui l[a] stratifient et le plan qui l[a] libère »[100].

Nous avons jusqu'ici rencontré au moins trois différentes déclinaisons du terme virtuel : le virtuel comme synonyme des processus de dématérialisation qui caractérisent les médias numériques, le virtuel comme production des simulacres, des reflets fictifs ou virtuels au sein de notre organisation perceptive, et, enfin, le virtuel comme plan transcendantal. En ce dernier sens le virtuel représente à la fois la condition de possibilité du processus d'actualisation aussi bien que le processus de transformation de l'actuel. Dans le premier cas il s'agit du virtuel en tant que potentiel. Dans le second le virtuel implique les processus de valorisation imaginative de l'actuel. L'ensemble de ces déclinaisons nous permet d'esquisser une nouvelle définition, plus générale, du virtuel sous forme de postulat : *le virtuel est un écosystème incarné*. Comme on l'a vu en parlant d'organisation sensorielle, le virtuel n'est pas quelque chose qui existe en dehors de l'acte perceptif même, et donc en dehors de l'actuel. Virtuel et actuel surgissent dans un rapport de simultanéité. Le virtuel se produit donc à partir d'une certain organisation perceptive, d'une certaine relation sensible avec

---

[99] Dorénavant j'utiliserai la translittération française du terme anglais *performer*. Dans le texte, j'utiliserai, selon le cas, la déclinaison féminine - *performeuse* - afin de souligner le genre de la personne désignée. Du point de vue sémantique, j'emploierai le terme "*performeur*" selon deux acceptions. La première renvoie à la définition de *performing art* désignant ces artistes qui utilisent le corps comme moyen principal d'expression mais qui se situent dans des territoires hybrides de la pratique artistique (nous ferons référence par exemple à l'œuvre de Stelarc). La deuxième déclinaison est utilisée pour désigner de façon générale les interprètes sur scène dans le domaine des arts vivants (interprètes de musique, comédiens, danseurs, etc.).

[100] Gilles DELEUZE et Felix GUATTARI, *Milles plateaux. Capitalisme et schizophrénie*, *op. cit.*, p. 197.

mon *umwelt*[101]. En ce sens, tout espace virtuel révèle des fragments de corporéité, des traces de notre univers sensoriel et de nos projets moteurs. Par cela le virtuel est, dès son origine, quelque chose d'incarné. Il est également un écosystème puisque les processus de virtualisation manifestent d'avantage notre catégorisation perceptive de l'espace et des relations fonctionnelles avec l'environnement. Non pas un espace géométrique vide, mais un lieu peuplé par nos actions actuelles ou possibles. Le virtuel est aussi un écosystème au sens biologique, car il reflète les interactions pragmatiques que nous développons avec notre milieu opératif, affectif et existentiel. La corporéité dansante contient tout cela. Ce qu'elle exhibe est d'avantage l'entrelacement expressif entre les mondes internes de la sensation, les mondes externes du mouvement, et toutes ces présences atmosphériques qui, en restant en connexion avec l'invisible, révèlent des traces du fond des mondes imaginaires :

> « Peut-être faudrait-il atteindre la chair elle-même, et alors on verrait que dans certains cas, à la limite, c'est le corps lui-même qui retourne contre soi son pouvoir utopique et fait entrer tout l'espace du religieux et du sacré, tout l'espace de l'autre monde, tout l'espace du contre-monde, à l'intérieur même de l'espace qui lui est réservé. Alors, le corps, dans sa matérialité, dans sa chair, serait comme le produit de ses propres fantasmes. Après tout, est-ce que le corps du danseur n'est pas justement un corps dilaté selon tout un espace qui lui est intérieur et extérieur à la fois? »[102]

---

101 La notion d'*Umwelt*, élaborée par Jakob von Uexküll au début du XX^e^ siècle, définit "l'environnement propre" à chaque organisme, son milieu existentiel. Il désigne, d'un point de vue biologique, l'ensemble du milieu sensoriel et du milieu opératif ou pragmatique d'un être vivant. Cf. Jakob VON UEXKÜLL, *Milieu animal et milieu humain* (1934), Paris, Editions Payot & Rivages, 2010.

[102] Michel FOUCAULT, *Le Corps utopique, les hétérotopies* [1966], Fécamp, Lignes, 2009, p. 17

Chapitre 2

De la notion de corps virtuel.

Déterritorialisation, extension et intensification.

2.1 Liveness : la question de la présence face aux technologies

Après avoir éclairé le rapport entre virtuel, organisation perceptive et corporéité, revenons maintenant à la problématique de la relation art vivants-numérique afin de définir quel est le statut du corps performant[103] dans un contexte de médiation technologique. Comme on l'a précisé auparavant, l'une des questions emblématiques du débat sur les arts numériques concerne la problématique de la médiation. Toute interface numérique, quelque soit la nature des dispositifs (totalement immatérielle ou impliquant des prothèses bio-mécaniques), se base sur la conversion des processus expressifs par des formes sémantiques simplifiées. En ce qui concerne le cadre de la performance, un des risques majeurs de l'interactivité numérique réside, en effet, dans la perte de l'originalité et de la richesse expressive normalement canalisée par les opérateurs de la pragmatique corporelle. Cette question semble être d'autant plus importante lorsqu'on parle des arts de la scène[104]. À ce propos, de nombreux artistes et théoriciens ont mis l'accent sur la manière dont les interfaces impliquent une sorte de disparition de la "présence" due à la complexité des niveaux de médiation algorithmique qui séparent la corporéité performante du *feedback* numérique (qu'elle que soit visuelle, sonore, textuelle, etc.)[105]. Entre la fin des années 1990 et la décennie suivante, une importante réflexion concernant la "médialisation"[106] de la performance live émerge au sein du débat sur les arts numériques. Cet débat s'articule, notamment dans le contexte anglo-américain, autour

---

[103] J'utilise l'expression "corps performant" pour dénoter la corporéité de l'artiste en scène.

[104] Cf. Jean-Marc LARRUE (dir.), *Théâtre et intermédialité*, Villeneuve d'Ascq, Presses universitaires du Septentrion, 2015.

[105] Cf. Steve DIXON, *op. cit.*, p. 115-134. Voir également Olivier NANNIPIERI, *Du réel au virtuel. Les paradoxes de la présence*, Paris, Harmattan, 2017, p. 47-67.

[106] J'emploie le mot "médialisation" pour désigner un processus qui diffère de la simple "médiatisation". Si en effet la médiatisation concerne la diffusion des contenus par le biais des technologies informatiques de communication, le mot "médialisation" renvoie plutôt aux processus de codage et de transformation numériques. Différemment du concept de médiatiser, c'est à dire communiquer un contenu par le biais d'un certain média sans que le média apporte une modification à celle-ci, la notion de médialisation met l'accent sur le fait que les médias ne sont pas simplement des canaux de transmission de l'information, mais de véritables dispositifs de transformation. Les contenus médialisés ne sont pas seulement "communiqués", ils interagissent avec les caractéristiques structurelles du média utilisé. À ce propos, le terme renvoie à la perspective "médiologique" à laquelle j'ai déjà fait référence et sur laquelle on reviendra.

de la question du *liveness* de la performance numérique[107]. La problématique majeure émergeant de ce débat réside dans le fait que les médias numériques ont tendance à prédominer sur les autres unités sémiotiques du jeu performatif. Cela est dû tantôt à des raisons d'ordre sociologique (la nature hégémonique des technologies informatiques dans notre société) tantôt aux aspects perceptifs liés à la réception esthétique (l'hyper-stimulation audiovisuelle produite par la multisensorialité technologique). Comme Auslander le précise, lorsqu'on assiste à des créations exploitant pratiques performatives aussi bien que nouvelles technologies « tantôt les éléments live tantôt les éléments numériques sont assimilés au média dominant, c'est à dire le numérique. En ce sens, l'équation s'avère être : Danse + Virtuel = Virtuel »[108]. En faisant écho au paradigme benjaminien de la reproductibilité technique[109], beaucoup de spécialistes ont également souligné comment les médias numériques représenteraient la mort définitive de la "présence" dans l'œuvre d'art[110]. À travers la suspension du concept de distance (téléprésence, ubiquité, interactivité), les technologies interactives aspirent, en effet, à une sorte de proximité absolue. Cette "élimination de la distance", due à la reproductibilité technique, par exemple des éléments sonore ou visuels, s'avère particulièrement remarquable dans les arts vivants où l'unicité et la non-reproductibilité du jeu du *performeur* (danseur, comédiens, musicien, etc.) s'oppose à la sérialité et à la reproductibilité informationnelle du numérique. L'introduction des nouvelles technologies, et particulièrement des dispositifs d'interaction, impose alors une réorganisation de la sémantique de la scène à partir de cette opposition ontologique. La relation entre la corporéité performante et le mécanisme technologique est, sans doute, le point de convergence de cette re-organisation. En particulier, il s'agit de re-positionner le processus

---

[107] Cf. Philip AUSLANDER, *Liveness. Performance in a mediatized culture*, London-New York, Routledge, 1999. Voir également Susan BROADHURST et Josephine MACMAHOON (dir.), *Performance and technology. Practices of virtual embodiment and interactivity*, New York, Palgrave Macmillan, 2006.

[108] « [In mixed performances], both the live elements and the digital elements are assimilated to the dominant medium, which is the digital. In that sense, the equation turns out to be : Dance + Virtual = Virtual » Philip AUSLANDER, *op. cit.*, p. 38. Nous traduisons.

[109] Walter BENJAMIN, *L'œuvre d'art à l'époque de sa reproductibilité technique* [1939], Paris, Éditions Allia, 2003. Je fais particulièrement référence à la thèse selon laquelle l'introduction de la reproduction technique en art, en éliminant la distance entre le spectateur et l'œuvre, aurait provoqué la disparition de l'aura de cette dernière (dimension mystique, ritualité, valorisation de la figure du génie, etc.).

[110] Voir parmi d'autres Paul VIRILIO, *op. cit.*

expressif par rapport aux effets de médiation produits par les dispositifs numériques. En se limitant aux seuls dispositifs interactifs, ces effets de médiation questionnent la présence d'altérités virtuelles sur la scène, le rôle scénique, dramaturgique et pragmatique des interfaces, et la question du temps réel par rapport aux systèmes de captation du mouvement pour la génération audiovisuelle. Ce dernier aspect est notamment l'un des points le plus critique puisqu'il implique une mise en question radicale de la pragmatique corporelle du *performeur* tantôt en termes d'incorporation du dispositif tantôt en termes d'élaboration d'une syntaxe multisensorielle cohérente et intelligible.

2.1.1 Performance numérique et formes de médiation

Du point de vue historico-artistique, il n'est pas alors un hasard si de nombreuses œuvres et performances, crées entre la fin des années 1980 et le début des années 2000, ont pour objet la médiation technologique elle-même[111]. À cet égard, on observe deux tendances majeures. D'un côté l'utilisation démonstrative des nouvelles technologies comme clef de voute de l'écriture scénique et de l'autre l'incorporation de la thématique technologique comme élément central dans la dramaturgie de l'œuvre. Sans s'attarder sur les questions liées à la complexité des processus de création qui justifient, quelque part, l'attention portée sur la question de la technique[112], on constate que, surtout pendant la période "classique" des arts numériques, une partie importante des créations interactives s'est intéressée principalement à la "mise en scène" de la nouveauté technologique. Ici on remarque la tendance à subordonner l'écriture scénique, corporelle et musicale à la spécificité technologique de l'interface ou du dispositif, en substituant *de facto* le processus expressif par la spectacularisation de la *technè*.

L'autre tendance consiste à transformer la question de la technique dans le véritable contenu de l'œuvre.

---

[111] La célèbre pièce "*Brain Opera*" (1996) de Tod Machover, inspirée au pionnier de l'intelligence artificielle Marvin Minsky, en est un exemple paradigmatique. Cf. Joseph A. PARADISO, "The Brain Opera Technology: New Instruments and Gestural Sensors for Musical Interaction and Performance" in *Journal of New Music Research,* 28(2), 1999, p. 130-149.

[112] L'introduction des technologies interactives pour la scène ne comporte pas seulement un temps de conception et réalisation de dispositifs, mais aussi une longue phase d'étude des interfaces de la part des *performeurs* et un travail spécifique d'écriture permettant d'intégrer les dispositifs dans une syntaxe scénique cohérente. On reviendra sur ces problématiques dans le huitième chapitre, entièrement consacré à l'analyse des processus de création dans le contexte d'une pièce théâtrale. Cf. *infra*, p. 318-350.

Dans ce cas, les interfaces, souvent visibles en tant que dispositifs scéniques, sont employées comme élément métaphorique redondant : elles sont présentes en scène pour leur fonction propre bien qu'elles renvoient métaphoriquement à la question de la médiation technique dans un sens plus large. Du point de vue dramaturgique, l'écriture de l'œuvre s'attarde alors sur les aspects sociologiques et politiques du rôle de la technologie dans la société contemporaine. Dans ce cas, l'interface est un signe qui renvoie à l'Algorithme, à une présence immatérielle qui s'oppose au corps physique du *performeur* (lui-même signe de la réalité, de l'humain ou de l'immédiat). Une autre possibilité consiste à transformer métaphoriquement le dispositif technique dans un objet dont la fonction est proprement "magique"[113]. Étant donnée la nature ésotérique des processus de transformation numérique de l'information, les dispositifs techniques sont en mesure d'évoquer des effets d'étonnement qui répondent aux attentes perceptives et culturelles de la post-modernité contemporaine[114]. Ce dernier aspect reflète ce qu'on a appelé le processus de mythisation (et de mystification) du virtuel. En valorisant les caractéristiques immatérielles des processus algorithmiques, les arts numériques ont tendance à concevoir la technologie comme altérité (soit en en condamnant les effets déshumanisants, soit en en exaltant le potentiel mythopoïétique). C'est dans ce cadre que l'opposition corps réel-corps virtuel émerge tout en devenant le paradigme de référence des arts numériques. Cette relation donne lieu à deux conceptions complémentaires du corps performant : d'un côté le corps est lui-même conçu comme un instrument dont la fonction est d'être déclencheur du mécanisme algorithmique; de l'autre côté la corporéité vivante, en gardant son autonomie par rapport au dispositif technique, est opposée au processus de génération numérique. Dans le premier cas, la corporéité adhère à la matrice sensorielle imposée par l'interface en réduisant le potentiel expressif de la pragmatique corporelle. Dans le second, elle construit sa propre sémantique par opposition aux dispositifs technologiques.

Si la fonction expressive du corps est généralement mise en cause par la présence des médias

---

[113] Il convient de noter que ces deux conceptions du dispositif, soit signe de l'Algorithme soit élément évoquant une dimension surnaturelle, rappellent les deux modèles interprétatifs de la surévaluation du sonore dont nous avons parlée auparavant, à savoir la mathématisation et la spiritualisation du phénomène acoustique.

[114] Roy Ascott l'un des théoriciens majeurs des arts numériques, utilise à ce propos l'expression « technologie de transcendance » : cf. Roy Ascott (dir.), *Reframing consciousness*, Portland (Oregon), Intellect books, 1999, p. 66-75.

numériques, il faut néanmoins noter qu'un certain nombre d'artistes ont essayé de repenser le dispositif technique dans une perspective plus proprement incarnée. C'est le cas, par exemple, de Susan Kozel, dont les travaux reflètent une vision phénoménologique du rapport entre corps et technologie[115]. Dans des créations comme *Contours* (1999) ou *trajets* (2000), l'interface n'est pas conçue comme altérité mais plutôt comme prothèse capable de stimuler la perméabilité du corps. En ce sens, la technologie, et notamment les systèmes de captation du mouvement, ne sont pas utilisés pour célébrer la disparition du corps physique, mais, au contraire, pour interroger le potentiel de virtualisation qui réside, comme on l'a vu, dans la corporéité elle-même. Durant ces dernières années, on remarque d'ailleurs la tendance, dans les arts vivants, à s'éloigner d'une conception purement immatérielle du virtuel au profit d'une reconsidération de la notion de présence. Cela est dû tout d'abord au développement de technologies interactives de plus en plus ductiles et performantes ainsi qu'au fait que les artistes sont aujourd'hui plus intéressés à la construction d'un langage multisensoriel cohérent plutôt qu'à l'expérimentation de la nouveauté technique. L'émergence d'un rapport écologique entre corporéité et technologie semble refléter en outre une changement de paradigme important. En effet, la pratique artistique contemporaine semble s'orienter d'avantage sur la capacité des nouveaux médias à étendre notre implication sensible au monde :

> « In contrast to earlier media art, virtual reality and telematic art practices, which celebrated freedom from the limitations of the physical body, wearable technology art is reconsidering the importance of the body and the physical presence. These works reconnect the world and the body that has regained its mobility and is now (possibly) networked. This body is offered and participation and physical presence is expected »[116]

2.2 Trois formes de déterritorialisation du corps virtuel

Afin de définir l'ontologie de la corporéité performante face au numérique, nous allons maintenant nous attarder sur la manière dont les technologies interactives impliquent un re-agencement radical du corps en

---

[115] Cf. Susan KOZEL, *Closer : performance, technologies, phenomenology*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2007.

[116] Laura BELOFF, "Carnival / Wearable-art / Presence" in Roy ASCOTT et al. (dir.), *New Realities : Being Syncretic*, Wien, Berlin, Springer-Verlag, p. 41.

scène. Pour faire cela nous analyserons brièvement le rapport entre corps physique et corps numérique dans l'œuvre de trois artistes majeurs des années 1990 : Merce Cunningham, Stelarc et Char Davies. Leurs créations artistiques reflètent en effet trois formes paradigmatiques de déterritorialisation virtuelle du corps. La notion de déterritorialisation indique la décontextualisation de certaines relations ou de certaines fonctions qui se libèrent d'une forme structurée pour redevenir pures virtualités ou, selon les cas, pour se reconfigurer dans une nouvelle organisation dynamique[117]. Ce concept est, d'ailleurs, profondément lié à celui de *CsO* en en représentant le processus de déstructuration et le flux dynamique. La notion de déterritorialisation nous permet, en outre, de reconsidérer la relation entre corps physique et corps de synthèse à l'intérieur du processus de virtualisation qui caractérise notre organisation perceptive et donc notre corporéité.

2.2.1 Le double numérique ou la visualisation du virtuel

Une forme assez emblématique de déterritorialisation du corps virtuel est représentée par la figure du « double numérique »[118]. L'avatar virtuel peut assumer des formes très différentes sur scène : il peut se configurer comme *reflet* du *performeur* (comme dans le cas de la projection sur écran des actions réel de ce dernier), comme *alter-ego* (c'est le cas des projections 3D ou sonores qui, en se basant sur une véritable captation du mouvement, évoquent la corporéité transfigurée du comédien ou du danseur), comme *émanation spirituelle* (en référence à la création audiovisuelle des corps complètement abstraits, des entités autres, qui néanmoins dépendent des interactions en scène) ou encore comme *avatar* proprement dits (dans

---

[117] « Comment les mouvements de déterritorialisation et les procès de reterritorialisation ne seraient-ils pas relatifs, perpétuellement en branchement, pris les uns dans les autres ? L'orchidée se déterritorialise en formant une image, un calque de guêpe ; mais la guêpe se reterritorialise sur cette image. La guêpe se déterritorialise pourtant, devenant elle-même une pièce dans l'appareil de reproduction de l'orchidée ; mais elle reterritorialise l'orchidée, en en transportant le pollen. […] On pourrait dire que l'orchidée imite la guêpe dont elle reproduit l'image de manière signifiante (mimesis, mimétisme, leurre, etc.). Mais ce n'est vrai qu'au niveau des strates - parallélisme entre deux strates telles qu'une organisation végétale sur l'une imite une organisation animale sur l'autre. » Gilles DELEUZE et Felix GUATTARI, *Milles plateaux. Capitalisme et schizophrénie*, *op. cit.*, p. 17.

[118] À démonstration de l'importance de cette notion, Dixon y consacre un chapitre entier de son excellent ouvrage sur l'histoire des arts numériques : "The Digital Double" in Steve Dixon, *op. cit.*, p. 141-170

ce denier cas, les entités audiovisuelles qui apparaissent en scène sont totalement autonomes et indépendants, elles jouent le véritable rôle de personnage qui peut interagir avec les *performeurs*). Bien que ces catégories esthétiques aient une importance spécifique pour le théâtre multimédia, elles peuvent néanmoins se référer à une panoplie très vaste de créations artistiques utilisant des médias numériques (spécialement interactifs) sur scène.

Afin de mieux préciser le rapport entre le corps performant et son double numérique je prendrai comme exemple le cas de *BIPED* (1999), œuvre pionnière de Merce Cunningham. *BIPED* nait de la collaboration entre le chorégraphe américain et le groupe Reverbed (Paul Kaiser and Shelley Eshkar), un collectif d'artistes new-yorkais spécialisé dans le développement de technologies pour les arts visuels et les arts de la scène, avec un intérêt particulier pour les nouvelles techniques d'animation graphique. Les figures virtuelles créées pour cette pièce consistent en des formes stylisées dessinées à la main qui évoquent des corps humains. L'œuvre se caractérise par le dialogue originale entre les corps physiques des danseurs sur scène et la danse éphémère de leur doubles numériques rétro-projetés sur des écrans translucides composant la scénographie de la pièce[119]. Un aspect très intéressant de l'œuvre est sans doute le processus de création. Celui-ci présente, en effet, un double processus de virtualisation qui amène du corps virtuel au corps physique et, à nouveau, au corps de synthèse des avatars. La première étape consiste en l'utilisation d'un système de *motion capture* (*MoCap*) à travers lequel Kaiser et Cunningham ont créé un répertoire de mouvements dansés issus de l'enregistrement des danseurs de la compagnie[120]. Ce répertoire d'actions a été ensuite utilisé comme base de données pour créer les mouvements des figures projetées. Cet aspect donne, d'ailleurs, un caractère très vivant aux clones virtuels. Le deuxième aspect qui nous intéresse de près

---

[119] Sans vouloir s'attarder sur les nombreux enjeux esthétiques de l'œuvre, sur lesquels une très vaste littérature existe, je renvoie le lecteur à la monographie que Copeland consacrée au chorégraphe américain, et en particulier au chapitre dédié à ses expérimentations avec le numérique : "Dancing for the digital age" in Roger COPELAND, *Merce Cunningham. The modernizing of Modern Dance*, London-New York, Routledge, 2004, p. 168-185.

[120] Les danseurs ont performé pendant plusieurs sessions de motion capture permettant le codage tridimensionnel du corps et l'enregistrement des séquences de mouvement. Le système de captation utilisé était composé par une caméra infrarouge et un système de *marqueurs* sur le corps du danseur. Cf. Steve DIXON, *op. cit.*, p. 188-192.

est le fait que tantôt les mouvements exécutés en scène, tantôt les mouvements réalisés exclusivement pour la captation du mouvement ont été créés avec l'utilisation de *Life forms*, un logiciel pour la composition chorégraphique assistée par ordinateur[121]. Comme déjà dans d'autres pièces de Cunningham[122], les danseurs interprètent une chorégraphie dont les séquences de base viennent de l'expérimentation avec le logiciel. Ce processus permet d'envisager des structures dansées originales en partant de l'abstraction des fonctions kinesthésiques du corps en mouvement[123]. La médiation technologique est alors utilisée pour dévoiler le potentiel de virtualisation du corps. Le logiciel permet, en effet, de visualiser des possibilités du mouvement qu'il ne serait pas possible d'envisager autrement. Au lieu de limiter le potentiel expressif du corps, le medium numérique favorise ici l'émergence d'une corporéité étendue qui dépasse le corps actuel :

> « Avec Life Forms, ma vision s'est transformée en ce sens que j'ai discerné des détails du mouvement de plus en plus fins. […] Vous testez des situations, des combinaisons de mouvements qui seraient impossibles pour un vrai danseur. C'est souvent là que le regard s'électrise. Vous voyez tout à coup quelque chose à quoi vous

---

[121] À partir de la fin des années 1980, Cunningham commence à s'intéresser à la composition chorégraphique assistée par ordinateur en collaborant directement au développement du très célèbre logiciel *Life forms Dance software*. Ce logiciel permet au chorégraphe de simuler des séquences de mouvement à travers le support de figures animées. L'apport innovant de *Life Forms* réside dans la possibilité de composer un mouvement à partir de l'abstraction des composants qui articulent l'action dansée. Cette forme d'abstraction du processus d'écriture a bien évidement une influence remarquable sur la pensée chorégraphique. Cf. *Id*., p. 184-187.

[122] *Tracker* (1991), *Enter* (1992), *CRWDSPCR* (1993) et *Ocean* (1994).

[123] Il faut souligner qu'il s'agit d'un processus de création très lié à l'esthétique de Cunningham et qui reflète, d'ailleurs, cette recherche autour de la déstructuration du mouvement que le chorégraphe américain poursuit depuis les années 1950. Comme deLahunta le précise : « Arguably, *Life Forms* is really the "only" software of its kind for choreographers, but it is not used very much by dancemakers. Besides the matter of computer access and the time and effort it takes to learn to use the program, *Life Forms* "embodies," if one could say that, the dancing aesthetic of Cunningham . . . Perfect for Cunningham, but of limited use to choreographers whose movement vocabulary and aesthetic is directed along another line. » Scott DELAHUNTA, "Virtual Ephemerality: The Art Of Digital Dancing" in *Id.*, *Shifting Interfaces : art research at the intersection of live performance and technology*, Thèse de doctorat, Playmouth University, 2010, p. 46. L'article original est apparu dans AAVV, *Maska: Uzitek avtomata*, May 1999, p. 45-49.

n'aviez jamais songé. Avec Life Forms, vous pouvez isoler les différentes parties du corps, fractionner le mouvements, les recombiner différemment »[124]

Si l'utilisation que Cunningham fait de *Life forms* permet de libérer ces formes possibles, qui demeurent en puissance sur le plan transcendantal du mouvement, le travail graphique réalisé avec *Character studio* projette ces formes virtuelles dans les abîmes alchimiques de l'imaginaire. Le corps ne disparait pas, comme le voudraient les détracteurs du virtuel. Il persiste sous forme de modèle combinatoire, comme *pattern* modulé par des variations imaginatives :

« [Avec Character Studio] vous avez davantage des possibilités de transformation, en termes de point de vue, d'échelle, de distance, de représentation de l'espace…même de structure du modèle. […] Vous pouvez abstraire les coordonnées d'un rythme - un rythme réel, enregistré sur une telle partie du corps du danseur, la jambe droite disons -, et vous pouvez, […] le transposer sur un autre partie du corps, un bras par exemple »[125]

BIPED met en scène deux formes de dialogue entre corps physique et corps virtuel. Si les danseurs incorporent les virtualités déstructurées du mouvement, leur doubles numériques manifestent ces virtualités de manière étendue. À travers le dialogue, tout à fait aléatoire[126], entre les danseurs et les corps synthétiques projetés, une logique de l'intensité - au sens deleuzien - émerge. Tout en révélant leur origine sensible, les corps synthétiques nous conduisent alors au-delà du corps actuel vers les profondeurs des processus transformatifs qui règlent la perception esthétique du mouvement.

---

[124] Annie SUQUET, "De Life Forms à Character : un entretien avec Merce Cunningham à propos d'ordinateur", in *Nouvelles de danse : danse et nouvelles technologies*, *op. cit.*, p. 107.

[125] *Ibid.*

[126] « Disembodied ("motion-captured") images of Cunningham dancers were projected on a downstage scrim curtain that covered the entire width of the proscenium. Kaiser and Eshkar generated approximately 25 minutes of motion-captured animation, slightly more than half the length of the dance. This material was subdivided into a series of discontinuous sequences, ranging from about 15 seconds to 4 minutes in length. The order in which these sequences were projected on the scrim was determined by chance operations. » Roger COPELAND, *op. cit.*, p. 177.

2.2.2 De la désorganisation du corps au corps-prothétique

Si le double numérique nous permet d'apercevoir les processus de virtualisation du mouvement à partir de la relation entre corps virtuel et corps actuel, d'autres formes d'expérimentation artistique ont plutôt exploré la manière dont la technologie peut mettre en question l'identité formelle du corps-organisme. On est ici dans le paradigme du corps augmenté, à savoir le royaume de la prothèse. L'interface est dans ce cas l'outil de transduction immédiate, en temps réel, du corps visible, l'instrument de transformation directe de la structure anatomique du *performeur*. Ici le corps est directement connecté au dispositif technologique par le biais de capteurs et d'actuateurs. Ceux-ci ont pour fonction d'étendre les limites sensorielles de la peau en augmentant ainsi le pouvoir de manipulation du réel. Stelarc est, sans doute, l'artiste qu'est allé le plus en profondeur dans cette idée de dés-organisation du corps. À partir du début des années 1980, l'artiste d'origine australienne explore les possibilités offertes par les bio-technologies en implantant dans son propre corps diverses typologies de capteurs (surtout de bio-signaux) et d'actuateurs lui permettant d'interagir en temps réel avec des prothèses mécaniques aussi bien que des environnements virtuels[127]. Beaucoup de titres de ses créations renvoient à l'expérimentation d'une typologie spécifique de prothèse avec laquelle il performe : *Third Hand* (1976–81), *Virtual Arm* (1992-3), *Stomach Sculpture* (1993), *Exoskeleton* (1998), *Extended Arm* (2000) et *Hexapod*, un robot avec six membres inférieurs, puis développé dans le travail *Muscle Machine* (2003)[128].

Le point de départ de l'œuvre de Stelarc est l'obsolescence du corps, c'est-à-dire la nature inadéquate de notre système organique face à la puissance de transformation des technologies informatiques et des bio-technologies. Ce qu'il suggère à travers sa recherche est qu'il faut reconfigurer le fonctionnement physiologique de notre organisme à partir de l'hybridation homme-machine. Cette conception reflète

---

[127] Pour des informations détaillées sur les dispositifs implantés sur le corps de Stelarc je renvoie le lecteur au site internet de l'artiste : http://stelarc.org/?catID=20247 Consulté le 20/05/2017.

[128] Pour une introduction à la complexe recherche esthétique de Stelarc je renvoie le lecteur à Marquard SMITH (dir.), *Stelarc: the monograph*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2005. Voir également Susan BROADHURST, "Virtuality, cybernetics and the post-human: Stelarc's obsolete body" in *Digital Practices. Aesthetic and neuroesthetic approaches to performance and technology*, New York, Palgrave Macmillan, 2007, p. 86-98, et Steve DIXON, *op. cit.*, p. 312-321.

d'ailleurs un des enjeux majeurs du débat sur le post-humanisme, à savoir la remise en question du paradigme anthropocentrique[129]. Au-delà de très riches implications socio-politiques, l'image du cyborg évoque tout d'abord le rapport mutuellement adaptatif entre être humain et médias technologiques[130]. Il faut préciser que, contrairement à la vision anthropocentrique, l'épistémologie post-humaniste ne considère pas la technologie comme un outil subvenant à des manques naturels de l'être humain mais plutôt comme un instrument de transformation. En ce sens « la prothèse est vue non pas comme un signe de manque mais comme un symptôme d'excès »[131]. Comme on l'a précisé à propos de la notion de *CsO*, ce que nous appelons "le corps" n'est pas, en effet, une entité stable, mais une agrégation momentanée à l'intérieur d'un processus continuellement transformatif. Les nouvelles technologies, et notamment les systèmes de captation, accélèrent et amplifient ce principe de métamorphose tout en rendant visible la nature évolutive et phylogénétique de notre système perceptif-cognitif. L'intrusion technologique implique, dans ce cas, une nouvelle manière de s'interfacer à la réalité externe (et interne) ainsi qu'une transformation radicale de notre *umwelt*, à savoir le milieu sensoriel et pragmatique-opérationnel de l'organisme vivant. De ce point de vue, on peut affirmer que « le corps cyber est » tout d'abord « un système augmenté », c'est-à-dire une corporéité étendue capable d'amplifier « ses capacités » et de projeter « sa présence dans des lieux reculés

---

[129] Le terme post-humain apparait pour la première fois dans le texte de Ihab HASSAN "Prometheus as performer: toward a posthumanist culture?" in *The Georgia Review,* 31(4), 1977, p. 830-850, dans le cadre du débat naissant sur la post-modernité : cf. également Jean-François LYOTARD, *La Condition postmoderne : rapport sur le savoir*, Paris, Minuit, 1979. Néanmoins c'est seulement avec le très célèbre article de Donna Haraway, publié initialement en 1984, que la relation entre prothèse technologique, identité anthropomorphe et de genre est analysée selon une double perspective phylogénétique et politique : cf. Donna J. HARAWAY, "A Cyborg Manifesto: Science, Technology, and Socialist-Feminism in the Late Twentieth Century" in *Simians, Cyborgs and Women: The Reinvention of Nature*, London-New York, Routledge, 1991, p. 149-181.

[130] Le terme "cyborg" est employé pour la première fois dans le *Journal of Astronautics* (1960), où les chercheurs de la NASA, Manfred Clynes and Nathan Kline, l'utilisent pour définir une entité capable d'incorporer des composants exogènes afin d'étendre le contrôle auto-régulateur des fonctions organiques et de s'adapter ainsi à un nouvel environnement. Cf. Alain MILON, *La Réalité virtuelle, avec ou sans corps ?*, Paris, Autrement, 2005, p. 16.

[131] « The prosthetic is viewed not as a sign of lack but rather as a symptom of excess » Susan BROADHURST, *op. cit.*, p. 87. Nous traduisons.

dans l'espace »[132].

Ce qu'il m'intéresse de mettre en lumière à travers l'œuvre de Stelarc est le fait que la médiation technologique et le principe interactif rendent visible le rapport mutuellement adaptatif entre corps physique et corps virtuel. Un certain nombre d'œuvres de Stelarc sont très pertinentes à ce propos. Je me réfère à *Fractal Flesh*, *Ping Body* et *ParaSite* (1995–8), performances extrêmes dans lesquelles l'artiste explore le contrôle involontaire et à distance de l'apparat musculaire via la stimulation électrique. *Fractal Flesh: Split Body: Voltage in/Voltage Out* (1995-96) nous intéresse particulièrement puisqu'elle évoque les trois processus de virtualisation chiasmatique que nous avons rencontré en parlant de la perception : activité/passivité, projection du mouvement et multisensorialité. La performance se déroule tout d'abord dans des espaces éloignés. Lors de la première création, la performance était projetée à Amsterdam, Helsinki et Paris[133] tandis que Stelarc se trouvait physiquement au Luxembourg. Les spectateurs pouvaient stimuler des mouvements dans le corps de l'artiste par le biais des écrans tactiles interactifs placés dans les trois galeries. L'interface permettait d'envoyer, via internet, des signaux contrôlant des décharges électriques. Ces signaux activaient la contraction musculaire involontaire des certaines parties du corps de Stelarc. Le public pouvait observer à distance, via un écran, la "chorégraphie pilotée" du *performeur*. Grâce à un système complexe de capteurs et d'actuateurs, le corps du *performeur* étais fonctionnellement divisé en deux. La partie de gauche était effectivement contrôlée par les impulsions électriques commandées par les spectateurs à distance, la partie de droite était au contraire autonome. Les mouvements de gauche étaient pourtant complètement involontaires tandis qu'avec la partie droite de son corps Stelarc était en mesure de créer ses propres mouvements et de contrôler sa "troisième main", une prothèse bio-mécanique commandée à travers les contractions musculaires de l'abdomen et de la jambe droite[134].

Cette performance amplifie, par le biais de la médiation technologique, les processus de virtualisation

---

[132] STELARC, "Vers le post-humain. Du corps esprit au système cybernétique", *op. cit.*, p. 92.

[133] La performance est transmise en temps réel au Media Lab de Helsinki, à la Doors of Perception Conference d'Amsterdam et au Centre Pompidou de Paris.

[134] Une main mécanique semblable à celle de l'homme qui est attachée au bras droit de Stelarc avec la fonction de main supplémentaire. Réalisée en 1980 à Yokohama, elle est contrôlée par les biais des signaux EMG (*Electromyography*).

que nous avons évoqué en parlant de l'organisation perceptive du mouvement. La chorégraphie semi-pilotée de Stelarc reflète, tout d'abord, le double processus d'activité et de passivité qui régit l'expérience sensorielle. Le corps dans ce cas fait une expérience directe et simultanée d'un état ambigu fait de réactions involontaires et d'actions volontaires. En se matérialisant en temps réel dans plusieurs lieux, non seulement comme vidéo-représentation éphémère et passive, mais également comme objet/sujet d'une véritable interaction, le corps de Stelarc devient une authentique télé-présence. Le mouvement, bien qu'il agisse dans l'espace actuel de la performance, est contrôlé ailleurs. En ce sens la danse macabre de Stelarc est autant réelle en Luxembourg qu'à Helsinki car ses mouvements sont les résultat d'un réseau complexe projetant le corps dans des espaces éloignés. Le mécanisme de la troisième main révèle également un principe de contrôle multimodal car l'expérience kinesthésique et haptique du geste est ici abstraite de ses caractères habituels et reliée à une commande exclusivement proprioceptive (les signaux électriques). D'autres créations de Stelarc explorent de manière encore plus approfondie les mécanismes de dissociation et de réorganisation de l'expérience sensorielle : c'est le cas, par exemple, du *extra ear*, une oreille additionnelle créée avec des cellules organiques de Stelarc et implanté sur le bras gauche de l'artiste. Un microphone est également implanté sous l'oreille. Cette opération permet de transformer l'avant-bras de Stelarc en un outil de captation acoustique très fin lui permettant de transmettre en temps réel les informations acoustiques dans des lieux éloignés via internet.

Si la figure du double numérique rend visible les processus de virtualisation qui opèrent au sein de la corporéité, l'exemple de Stelarc nous montre une transition, toujours en devenir, entre corps physique, corps de synthèse et corps virtuel. En déterritorialisant les fonctions motrices et sensorielles du corps-organisme, Stelarc nous amène au cœur du processus de virtualisation. Les différentes prothèses qu'il ajoute au cours de sa vie ne sont que des virtuels coagulés, des potentialités virtuelles qui ont pris forme. Au-delà des interfaces biomécaniques et des systèmes de capteurs qu'il incorpore littéralement, ce qui est intéressant pour notre recherche est en effet le processus de transformation et de réorganisation de la corporéité. Le corps de Stelarc est d'avantage un projet de métamorphose créatrice qui revendique la nature poïetique de la

médiation technologique[135]. En paraphrasant le *CsO* de Deleuze et Guattari, il oppose la stabilité du corps organique à la nature dynamique du corps virtuel : « LES CORPS PHYSIQUES ONT DES ORGANES, LES CORPS FANTÔMES SONT VIDES »[136]. Ce vide évoque de manière hyperbolique la pure immanence du virtuel ou bien la transformation sans cesse du corps sans organes, toujours en train de se faire et jamais vraiment achevé. Le virtuel représente alors un effort de dispersion totale, une tentative d'échapper au processus de concrétisation de l'actuel organique. Il faut d'ailleurs noter que la notion de médiation technologique élaborée par Stelarc risque, quelque part, d'opposer à nouveau la métamorphose immatérielle du virtuel à la matérialité du corps :

> « Les corps physiques connectés à la technologie de la réalité virtuelle sont transformés en entités fantômes capables d'agir à l'intérieur de bases de données et d'espace digitaux. […] Les capteurs sur le corps forment *un système de capture* pour ses images, le corps est couplé de telle sorte à mobiliser son fantôme. […] Les corps physiques sont pesants et particuliers. Les corps fantômes sont flexibles et fluides »[137]

Ce n'est ne pas un hasard si dans ses performances un dualisme remarquable se présente : d'un côté les corps-physique violés par l'intrusion technologique et de l'autre le corps-mystique, éphémère, qui survole l'éther télématique[138]. Cependant, l'œuvre de Stelarc nous montre de manière claire comment la médiation technologique, et spécialement les mécanismes d'interaction, peuvent conduire à une réorganisation

---

[135] C'est dans ce sens qu'il définit le média technologique non pas comme substitut prothétique du corps mais comme décoration esthétique : « The body not as a prosthetic replacement, but as an aesthetic adornment », STELARC, "Hollow body/host space : Stomach sculpture" in *Cultural Values*,1(2),1997, p. 250.

[136] STELARC, "Vers le post-humain. Du corps esprit au système cybernétique", *op. cit.*, p. 97.

[137] *Ibid.*

[138] À ce propos, Charlie Gere compare les deux corps de Stelarc aux deux corps du roi théorisés par Ernst Kantorowicz, un corps matériel et un corps spirituel, incarnant le pouvoir éternel ou « intemporel », qui habitent simultanément dans les rois médiévaux. Cf. Charlie GERE, "Stelarc's Mystical Body" in Susan BROADHURST et Josephine MACHON (dir.), *Identity, Performance and technology. Practices of empowerment, embodiment and technicity*, New York, Palgrave Macmillan, 2012, p. 208-219 et Ernst KANTOROWICZ, *Les deux corps du roi : essai sur la théologie politique au Moyen âge* [1957], Paris, Gallimard, 1989.

radicale du corps et du mouvement. En multipliant les systèmes de signes ainsi que les mécanismes d'interdépendance perceptive et motrice, le corps performant de Stelarc nous renvoie aux processus poïétiques qui alimentent la déterritorialisation du corps, non pas objet statique mais flux dynamique toujours changeant. Après avoir été désorganisé, le corps sans organes peut alors être ré-écrit et re-projeté pour en fin lui apprendre à « danser à l'envers » comme le voulait Artaud.

2.2.3 Le corps-environnement de la réalité virtuelle

La troisième forme de déterritorialisation du corps virtuel est celle qui émerge avec la réalité virtuelle. Comme on le sait, le terme *virtual reality* (*VR*) dénote des environnements artificiels simulant l'expérience perceptive de la réalité phénoménale. Toute réalité virtuelle se base sur quatre principes majeurs : la création de milieux stimulant l'action, l'utilisation des *feedbacks* multisensoriels, l'émergence d'un régime d'interactivité, l'élaboration d'une présence virtuelle[139]. Selon la manière dont ces principes sont organisés, on peut identifier deux macro-typologies : la réalité virtuelle, au sens stricte du terme, et la réalité augmentée. La première indique des écosystèmes *immersifs* visants à recréer l'expérience perceptive et cognitive de l'utilisateur (au niveau des stimulations sensorielles, de l'engagement psychomoteur et des attentes opérationnelles) par le biais des environnements synthétiques. La deuxième indique des réalités hybrides superposant des couches de présence virtuelle à la réalité phénoménale. Cette dernière forme de *VR* concerne désormais non seulement des expériences circonscrites aux installations artistiques et scientifiques mais, plus en profondeur, la tendance générale à la numérisation de nos milieux sensoriels, affectifs et existentiels. Au lieu de désigner des expériences exceptionnelles, l'augmentation de la réalité par le biais de l'interactivité numérique représente pourtant un processus majeur de l'ontogenèse contemporaine[140].

---

[139] Pour une introduction détaillée aux derniers développements dans le domaine de la réalité virtuelle et augmentée je renvoie à Matjaž MIHELJ, Domen NOVAK et Samo BEGUŠ, *op. cit*. Voir en particulier les p. 1-16.

[140] Cf. Borko FURHT (dir.), *Handbook of Augmented Reality*, London, Springer, 2011. Voir en particulier l'introduction de Julie CARMIGNANI et Borko FURHT, p. 3-46.

Différemment du double numérique qui représente une forme de visualisation des processus de virtualisation, ou du corps-prothétique qui incarne la transition entre corps organique et corps technologique, la corporéité de la réalité virtuelle se caractérise par l'adhésion, plus ou moins participante du sujet à l'environnement médiatique. En ce sens, on peut ici parler de corps-environnement, à savoir une forme de corporéité dont les limites, dépassant la structure anatomique du corps-individuel, s'identifient avec l'espace sensoriel et opératif du dispositif multimédia. L'émergence d'un tel paradigme remonte à deux travaux pionniers de l'artiste canadienne Char Davis : *Osmose* (1994-1995) et *Éphémere* (1998)[141]. *Osmose*, en particulier, représente une clef de voûte dans l'histoire des arts numériques aussi bien que dans l'expérimentation sur la réalité virtuelle[142]. Comme il a été noté par Olivier Grau, *Osmose* est en effet l'œuvre qui a retenu la majeure attention au niveau international au sein du débat sur les arts numériques[143]. Les raisons de cette importance sont tout d'abord le haut niveau d'innovation technologique et la conception inédite de l'expérience *immersive* élaborée par Char Davies[144]. Au contraire de la majeure partie des expérimentions avec la réalité virtuelle des années 1980 et du début des années 1990, cette œuvre se caractérise par l'utilisation d'un système complexe de captation du mouvement et d'élaboration des données visant à créer une expérience d'immersion totale. D'un point de vue technique, l'œuvre ne se limite

---

[141] Il convient d'ailleurs préciser que les premières formes d'installation interactive et de réalité augmentée remontent aux expérimentations de Myron Krueger conduites dans les laboratoires de la Wisconsin University déjà dans les années 1970. Parmi ces travaux pionniers il faut au moins citer *Glowflow* (1969), *Metaplay* (1970), *Physic space* (1971) et, surtout son installation la plus célèbre, *Videoplace* (1976). Voir à ce propos, Chris SALTER, *Entangled. Technology and the transformation of performance*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2010, p. 316-320.

[142] Pour une description approfondie des ces deux œuvres de Char Davies je renvoie à la monographie de Laurie McRobert, entièrement consacrée à l'expérimentation de la réalité virtuelle de l'artiste canadienne. Cette ouvrage est particulièrement intéressant puisque l'auteur s'attarde de manière détaillée sur l'importance de la question de l'espace chez Char Davies, en légitimant en effet l'utilisation du terme "corps-environnement". Cf. Laurie MCROBERT, *Char Davies' immersive virtual art and the essence of spatiality*, Toronto-Buffalo-London, University of Toronto Press, 2007. Voir en particulier le chapitre intitulé "On Up/Down Paradigms and the 'Essence of Spatiality'" p. 75-92.

[143] Cf. Olivier GRAU, *Virtual Art. From illusion to immersion* [2001], Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2003, p. 193-197. À ce propos je renvoie également à Chris SALTER, *op. cit.*, p. 336-337.

[144] Cf. Steve DIXON, *op. cit.*, p. 372-376.

pas à l'adoption du traditionnel casque *HMD* (*Head Mounted Display*), normalement employé pour la détection du mouvement de la tête et pour l'audio-visualisation des environnements virtuels[145]. Le système de capteurs est également composé d'un équipement endossable sophistiqué permettant l'analyse du mouvement de tout le corps. Des capteurs d'équilibre et de respiration sont aussi utilisés afin de mettre en connexion l'exploration tridimensionnelle de l'espace aux sensations proprioceptives. Du point de vue de l'installation, *Osmose* se déploie dans deux espaces principaux : la « chambre d'immersion », où une personne à la fois peut faire expérience de l'environnement virtuel, et une deuxième salle où les autres spectateurs sont en mesure d'observer la navigation audiovisuelle des participants par le biais de deux écrans lumineux. Les espaces virtuels dans lesquels les "voyageurs" s'immergent sont composés par des environnements naturels comme des forêts, des clairières, des étangs, des lieux souterrains ou célestes (créés à partir de techniques sophistiquées de génération graphique), évoquant des paysages oniriques. L'expérience virtuelle est rendue fortement *immersive* non seulement grâce à l'hyper-réalisme des espaces tridimensionnels mais aussi par l'exploitation d'un système de spatialisation sonore très élaboré visant à la production des effets psycho-acoustiques liés à la perception de la profondeur et de l'altitude[146].

Comme le titre de l'œuvre le suggère, l'installation interactive vise à créer une connexion intime, une

---

[145] Le *HMD* est un dispositif ayant l'apparence d'un casque avec des lunettes qui sont en réalité deux écrans permettant la navigation dans l'environnement virtuel. L'illusion de la profondeur est créée en faisant en sorte que chaque écran affiche l'environnement virtuel à partir d'un point de vue différent. L'affichage suit les mouvements de la tête de l'utilisateur et modifie la vue de l'environnement virtuel en conséquence. De plus, le casque est aussi utilisé pour recevoir des stimuli acoustiques. Le HMD a été la première interface réalisée pour l'expérience de la réalité virtuelle. Aujourd'hui ils existent différentes typologies selon l'application. Cf. Matjaž MIHELJ, Domen NOVAK et Samo BEGUŠ, *op. cit.*, p. 116-130.

[146] « In Osmose and Ephémère, the immersive experience is also significantly affected by our use of sound. As one journeys throughout the spatial realms, one is immersed in constantly changing sound coming from all directions. […] The sounds have been "localized" in three-dimensions and have been designed to transform, like the visuals, on the fly, in real time, in response to the immersant's ever-shifting position, speed, direction of gaze, and various other events. In both works, the sounds have been composed to oscillate between melodic form and mimetic effect in a state somewhere between structure and chaos. » Char DAVIES, "Virtual space" in Robert HOWELL, François PENZ et Gregory RADICK (dir.), *Space: in science, art and society*, Cambridge (England), Cambridge University Press, 2004, p. 86.

« osmose » entre l'*interacteur*[147], que Davies appelle justement « *immersant* », et l'environnement virtuel. Inspirée par une vision phénoménologique de l'expérience perceptive, l'artiste canadienne critique la conception purement cartésienne et géométrique de l'espace à travers la mise en valeur des interactions kinesthésiques et proprioceptives qui constituent la source primaire de notre implication sensorielle et existentielle avec l'environnement. Un des éléments originaux d'*Osmose* réside en effet dans la conception inédite de la médiation technologique. Ici le medium numérique n'est pas adopté comme outil de dématérialisation mais comme processus actif visant à stimuler notre implication corporelle à l'espace :

> « In everyday life we continue to conceptualize the world around us in terms of the old Newtonian/Cartesian paradigm, i.e., as an aggregate of solid separate objects in empty space. […] Conventional ways of thinking about and producing immersive virtual space faithfully mirror this metaphor. 3D computer graphic techniques, as commonly used in VR environments, tend to rely on 3D Euclidian geometric models, Renaissance perspective and the xyz coordinates of Cartesian space, all applied in a never-ending quest for visual realism. […] VR's tendency towards disembodiment should not be surprising either. […] In the virtual environments Osmose and Ephémère, I have proposed an alternative approach to virtual space, intended to resist the cultural trajectory described above. With this intent, we have developed strategies such as an embodying user-interface which grounds the immersive experience in the participant's own breathing and balance. »[148]

L'environnement d'*Osmose* n'est pourtant pas un espace neutre mais un lieu habité par la corporéité du "voyager". La manière particulière dont les données kinesthésiques et physiologiques sont connectées à la modification de l'espace audiovisuel légitime l'utilisation du terme corps-environnement pour définir ce

---

[147] Le terme "*interacteur*" est la translittération française du terme anglais *interactor.* J'ai décidé d'employer ce néologisme puisque du point de vue étymologique le terme renvoie au rôle spécifique du spectateur ou de l'utilisateur dans le contexte de l'interaction avec les interfaces homme-machine. En effet, le terme se compose de deux racines : le préfix "inter" renvoie évidement au processus "interactif" tandis que le suffixe "actor" (acteur) souligne la dimension participative du spectateur qui n'est pas simplement un récepteur passif de la représentation multimédia mais qui au contraire participe à la modification du contenu de l'œuvre.

[148] *Id.*, p. 71-73.

genre de déterritorialisation virtuelle. Un certain nombre des caractéristiques de l'architecture interactive reflètent ce principe. Tout d'abord l'importance donnée aux *feedbacks* proprioceptifs comme source d'organisation perceptive de l'espace. La respiration, par exemple, est utilisée comme base pour déterminer les mouvements principaux à l'intérieur de l'espace virtuel : les contractions et les décontractions de la cage thoracique, liées à l'inspiration et à l'expiration, contrôlent les déplacements vers le haut et vers le bas. De manière similaire, le sens de l'équilibre affecte le changement de direction sur le plan horizontal : la détection des variations liées à la distribution du poids permet à l'*immersant* de maîtriser les déplacements vers la droite et vers la gauche. À travers la connexion entre ces deux éléments liés au pré-mouvement[149] ainsi qu'à la modification de l'environnement, l'*interacteur* devient conscient du rapport génétique qui relie sa physiologie interne, ses projets moteurs et l'organisation dynamique de l'espace. Ces rapports ne sont pas ici simplement énoncés, mais il sont activés de manière à stimuler une réorganisation générale de la corporéité. On est bien à l'intérieur dans un processus de virtualisation au sens profonde du terme. *Osmose* ne se contente pas de virtualiser le corps à travers le codage et la représentation numérique du mouvement. La virtualisation demeure ici dans le fait que la médiation technologique amène à une réécriture radicale de la géographie sensorielle de l'*interacteur*. Grace à ce mécanisme il est possible de prendre conscience des rapports dynamiques qui mêlent organisation perceptive, composition du mouvement et émergence de l'espace. En effet, les protocoles d'interaction ne se basent pas sur l'idée d'une reproduction fidèle et objective de notre expérience du monde : par exemple les déplacements principaux se déroulent dans la verticalité et dans la profondeur. La perception du mouvement qui en résulte est inhabituelle. Au lieu de se déplacer de manière conventionnelle, l'*interacteur* a plutôt la sensation d'être en train de nager ou de survoler les paysages virtuels[150]. L'enjeu d'*Osmose* n'est pas de donner à voir un monde artificiel capable de se substituer à l'expérience du réel, mais plutôt de permettre la prise de conscience des processus de virtualisation qui règlent l'organisation perceptive du réel. Il ne s'agit pas ici de reproduire le monde mais d'en évoquer les enchantements.

Cette prise de conscience passe, d'ailleurs, par un sentiment de connexion profonde avec l'environnement. La qualité spécifique des protocoles interactifs d'*Osmose* permet en effet de dépasser la

---

[149] Cf. *supra*, p.48 note n. 73.

[150] Cf. Steve DIXON, *op. cit.*, p. 375.

seuil anatomique du corps, en adaptant ses frontières à l'organisation dynamique de l'espace. Les fonctions kinesthésiques et proprioceptives sont déterritorialisées à l'intérieur du paysage interactif en devenant des variables de l'émergence de l'espace. L'environnement est donc incorporé, au sens où la chair du corps et la chair de l'espace convergent, par osmose, dans une virtualité sensible. C'est ainsi que, par le biais de la médiation technologique, l'environnement devient une fonction étendue et dynamique de la corporéité.

2.3 Corps actuel, corps subtil et corps de synthèse : le corps virtuel comme jeu de miroirs

Nous avons rencontré jusqu'ici diverses déclinaisons du terme *corps virtuel*, certaines renvoyant à notre organisation perceptive, certaines impliquant la dimension sémantique et imaginative du mouvement, d'autres encore évoquant l'utilisation des nouvelles technologies. De manière similaire, Don Ihde parle de trois typologies du corps : un corps vécu au sens phénoménologique, reflétant tantôt le corps anatomique tantôt notre milieu sensoriel, un corps culturel, renvoyant à la construction sociale et symbolique de la corporéité, et un troisième corps, dépassant les deux premiers, qui s'identifie avec la médiation technologique elle-même[151]. Comme on le voit, ces trois modalités du corps renvoient en quelque sorte au processus de virtualisation. Cependant, au sens strict du terme, le corps virtuel ne demeure dans aucune de ces trois formes même s'il cohabite avec toutes. Je propose donc de parler de *degrés de virtualisation* afin de mieux comprendre de quelle manière le corps virtuel se manifeste tantôt dans le corps physique « en chair et en os » tantôt dans le corps synthétique des arts numériques. Le premier pas consiste à penser chacun de ce deux pôles - corps physique et corps de synthèse[152] - non pas comme entités stables et définies mais plutôt comme structures "émergentes"[153], à savoir des formes d'organisation non-réductibles aux causes matérielles qui en ont déterminé l'apparition. Comme on l'a vu en parlant de corporéité, ce qu'on appelle

---

[151] Cf. Don IHDE, *Bodies in technology*, Minneapolis (Minnesota), University of Minnesota Press, 2002.

[152] Cf. Enrico PITOZZI, "De la constitution du corps de synthèse sur la scène performative. Perception et technologies" in Renée BOURASSA et Louise POISSANT (dir.), *Personnage virtuel et corps performatif. Effets de présence*, Montréal, Presses de l'Université du Québec, 2013, p. 197-231.

[153] On reviendra plus loin sur la définition d'*émergence*. Cf. *infra*, p. 136 note n. 258 et p. 389-90.

« le corps physique » ne coïncide pas simplement avec le corps anatomique. Il est au moins le résultat d'une négociation dynamique entre un *corps actuel* et un *corps subtil*. Si le corps subtil représente l'ensemble des fonctions projectives inscrites dans les processus d'organisation perceptive de l'environnement (les chiasmes sensoriels dont on a parlé), le corps actuel en est l'incarnation momentanée et sélective. Le corps physique est alors la dérivée d'une telle relation biunivoque sans pourtant être réductible ni à l'un ni à l'autre :

> « Le corps, et par conséquent la qualité de sa présence, ne coïncide ni avec la projection virtuelle de l'image de l'anatomie dans l'espace produit par le cerveau, ni avec l'actuel de l'incarnation de cette image dans les muscles pour se faire action. On peut alors affirmer que le corps physique existe – et sa présence avec lui – uniquement dans la tension entre une *projection* (*corps subtil*) et une *rétention* (*corps actuel*) dans un même circuit qui relie et détermine mutuellement la dimension virtuelle et actuelle de la corporéité »[154]

Comme je le précisais, il s'agit d'une relation biunivoque et dynamique impliquant deux processus réciproques. D'un côté, le corps subtil se constitue par virtualisation des processus perceptifs (virtualisation des sensations passives dans des sensations actives, virtualisation des sensations dans des projets moteurs impliquant la relation avec l'espace, virtualisation d'une modalité sensorielle dans une autre). De l'autre, le corps actuel actualise et accomplit les tensions projectives du corps subtil en les rendant visibles. Le corps physique se manifeste alors comme un tissu de relations toujours changeant dans lequel tantôt les formes virtuelles tantôt les formes actuelles ne disparaissent pas mais persistent sous forme de constellation latente[155]. Le corps physique renvoie pourtant à un corps virtuel se manifestant de manière subtile à travers ce qu'on a appelé les simulacres de la perception (réversibilité d'actif et passif, projection motrice,

---

[154] Enrico PITOZZI, "De la constitution du corps de synthèse sur la scène performative. Perception et technologies", *op. cit.*, p. 205.

[155] Comme Hubert Godard le précise en parlant de la composition du geste : « Le premier moment - idéatif - se structure sur trois niveaux : la formulation d'un projet d'action, la projection d'une anatomie […] et la vectorialisation de l'espace […]. Le deuxième moment est, au contraire, exécutif, le moment dans lequel je décide de partir. Par conséquence, nous somme situés dans une sorte de réseau, entre la terre d'origine […] (l'organisation du poids la projection d'une image) et un lieu d'accostage. C'est dans la tension entre ces deux éléments qui nait […] une syntaxe gestuelle », Armando MENICACCI et Emanuele QUINZ, "Conversazione con Hubert Godard" in *La scena digitale*, Bolzano, Marsilio Editore, 2001, p. 371-381. Nous traduisons.

mutlimodalité). Ces simulacres, loin d'être formes éphémères ou abstraites, constituent des réfractions qui résonnent comme des échos dans notre corps (les fonctions sélectives et inhibitrices des organes sensoriels, l'activation musculaire comme reflet de la perception, l'émergences d'une variation multisensorielle au sein de la sensation actuelle).

Tout cela représente un premier degré de virtualisation impliquant le mouvement dans son lien originaire avec la perception. Un deuxième degré de virtualisation émerge avec la fonction expressive du geste. Il ne s'agit pas d'un deuxième degré au sens temporel, ni au sens conceptuel, car toute virtualisation se manifeste dans la simultanéité de l'articulation sensori-motrice. Il s'agit plutôt d'un degré majeur de sophistication qui est le résultat des effets de présence produits par le corps-en-scène (ou, comme on l'a défini ailleurs, la corporéité performante). Tantôt le geste dansé, tantôt le geste expressif du comédien, tantôt le geste musical, ne sont pas simplement des unités de la pragmatique corporelle. Étant donnée leur nature stratifiée, ils représentent le point de convergence d'un réticule des tensions expressives modulant l'espace-temps de la scène. En ce sens, le mouvement du *performeur* est porteur d'un réseau complexe des vecteurs affectifs, symboliques et métaphoriques qui dépassent largement le cercle du visible en se manifestant sous forme d'horizon latent :

> « L'organiste […] s'installe dans l'orgue comme on s'installe dans une maison. Pour chaque jeu et pour chaque pédale, ce ne sont pas des positions dans l'espace objectif qu'il apprend […]. Pendant la répétition comme pendant l'exécution, les jeux, les pédales et les claviers ne lui sont donnés que comme les puissances de telle valeur émotionnelle ou musicale et leur position que comme les lieux par où cette valeur apparaît dans le monde. Entre l'essence musicale du morceau telle qu'elle est indiquée dans la partition et la musique qui effectivement résonne autour de l'orgue, une relation si directe s'établit que le corps de l'organiste et l'instrument ne sont plus que le lieu de passage de cette relation. Désormais la musique existe par soi et c'est par elle que tout le reste existe. […] Ce n'est pas dans l'espace objectif qui l'organiste joue. En réalité, ses gestes pendant la répétition sont des gestes de consécration : ils tendent des vecteurs affectifs, ils découvrent

des sources émotionnelles, ils créent un espace expressif comme les gestes de l'augure délimitent le *templum* »[156]

Ce très rare passage de Merleau-Ponty consacré à la musique, nous parle d'une virtualité émergente, atmosphérique, qui co-existe et qui co-naît avec le geste expressif. Cette invisibilité, cette atmosphère perceptive[157], qui est déjà signification, résonne à travers le *performeur* chez le spectateur, grâce aux mécanismes de la valorisation imaginative du mouvement. Entre le corps du performeur et celui du spectateur un lien s'établit, une résonance motrice qui, en s'enracinant dans les processus d'organisation perceptifs, permet d'éveiller des mondes imaginaires, des transformations alchimiques qui sont le résultat, ou bien les effets, de la présence sur scène. Par le biais du mouvement, et de sa qualité, une transfiguration affective de l'espace scénique se produit : une variation virtuelle du corps actuel qui se manifeste tantôt comme inscription de l'imaginaire (les images éveillées par le mouvement) tantôt comme reflet psycho-moteur (reflets dans la posture, dans les tensions musculaires, dans les réactions kinesthésiques involontaires) chez le spectateur[158]. Plus précisément, c'est le simulacre imaginaire qui émerge comme reflet simultané de mes réactions proprioceptives et kinesthésiques. Cette forme de virtualisation révèle l'origine motrice de toute opération imaginative ainsi que la nature empathique du processus expressif :

« Le processus d'empathie suppose un transfert mutuel des expériences kinesthésiques entre le *performeur* et le spectateur. Cela implique une forme de résonance motrice : l'observation produit dans le spectateur – de façon non intentionnelle – une réorganisation de la posture (prémouvement). Le spectateur est donc induit à simuler les mouvements du *performeur* dans une sorte de contagion gravitaire. […] Il y a un partage, entre le *performeur* et le spectateur, d'une virtualité évoquée sur le plan de la scène, celle de la *fiction* comme

---

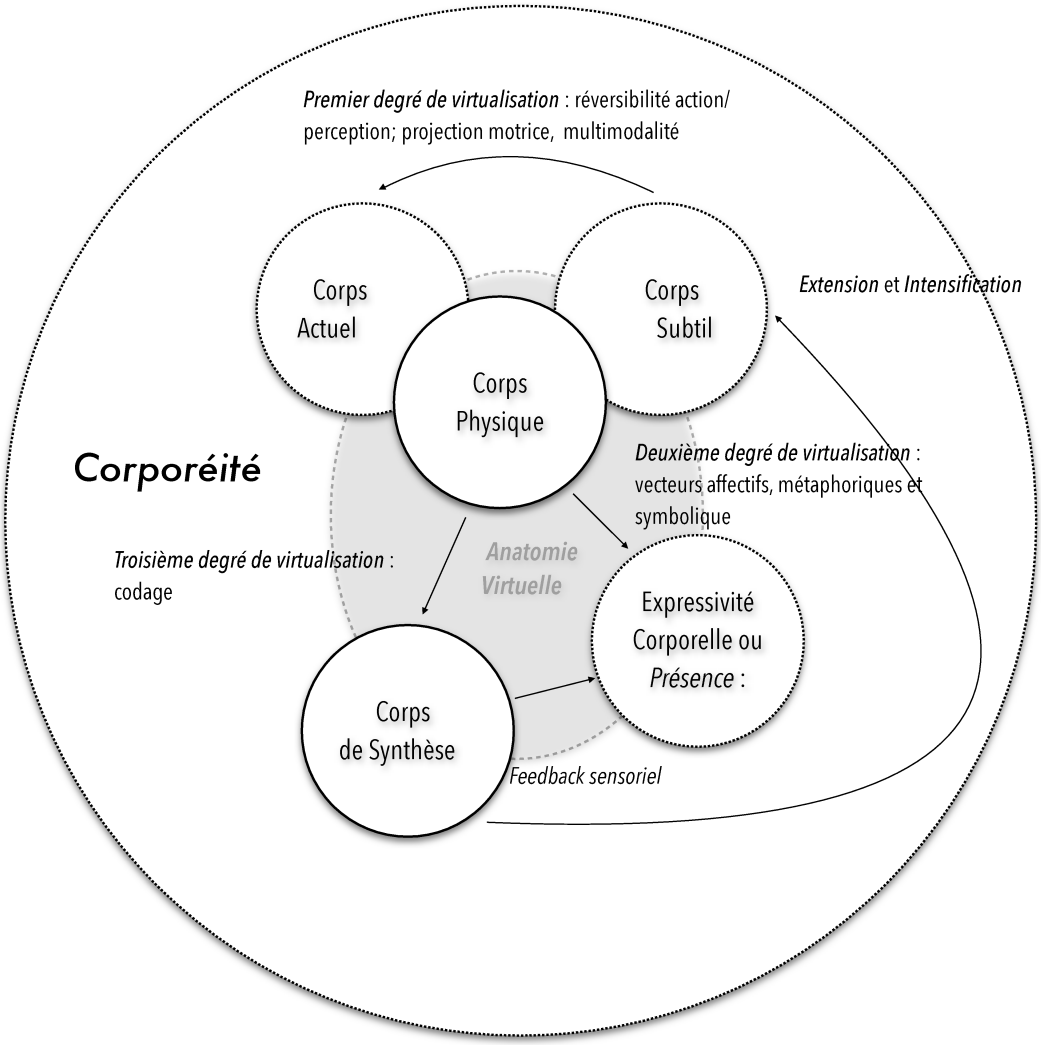
156 Maurice Merleau-Ponty, *Phénoménologie de la perception*, Paris, Gallimard, 1945, p. 169-170.

157 Je fais ici référence à la notion d'atmosphère élaborée par Gernot Böhme à partir de la moitié des années 1990. Je renvoie le lecteur à l'ouvrage le plus récent du philosophe allemand : Gernot Böhme, *The Aesthetics of Atmospheres*, London-New York, Routledge, 2017.

158 Nous reviendrons sur cette thématique lors du cinquième chapitre où parlera de la théorie moto-mimétique ainsi que de la boucle action/perception en musique. Cf. *infra*, p. 215-218.

projection de l'anatomie dans l'espace avant de disposer les segments de corps, qui *résonne* dans la corporéité du spectateur et, par l'effet de cette résonance, est comprise dans ses muscles. »[159]

Schéma 2



[159] Enrico PITOZZI, "De la constitution du corps de synthèse sur la scène performative. Perception et technologies", op. cit., p. 227-228.

2.3.1 Le *feedback* sensoriel comme extension et intensification du corps virtuel

Nous avons donc vu comme le corps virtuel représente un mécanisme qui agit avant même toute médiation technologique[160]. Si le premier degré de virtualisation aide le *performeur* à projeter son anatomie dans l'espace, le deuxième lui permet d'éveiller une présence scénique qui le met en communication avec le spectateur. La médiation technologique peut être pensée comme une *extension* et comme une *intensification* de ces deux modalités de virtualisation du corps. Ce passage conceptuel, visant à identifier les sources communes de la virtualisation perceptive et numérique, légitime une interprétation anti-dualiste de la relation corps/virtuel[161]. Comme on l'a vu, le corps actuel se manifeste comme actualisation d'un virtualité qu'on a appelé corps subtil. De la même manière le corps de synthèse, à savoir la présence concrète, sonore ou visuelle, qui se manifeste par le biais des technologies numériques, est une actualisation ultérieure du processus de virtualisation du corps. Le corps de synthèse ne coïncide pas exactement avec la seule virtualisation. De même que que nous avons remarqué la présence d'une polarité au sein du corps physique - actuel et subtil - de même il faut souligner une dynamique interne au corps de synthèse : le processus de codage, qui représente la virtualisation au sens strict du terme, et sa manifestation sensible (sonore, visuelle, etc.) qui en constitue l'actualisation. Le corps virtuel qui émerge de l'interaction avec les technologies numériques révèle pourtant un double processus constitutif évoquant tantôt un mécanisme de projection de l'anatomie corporelle (la captation du mouvement) tantôt un de transfiguration sensorielle (le *feedback*, souvent sous forme sonore ou visuelle) :

> « Virtual body is […] the phenomenalizing in the interaction with a user of an algorithm in binary format, a writing operation that in its sensible appearance hides and exposes at the same time the project rendered in

---

[160] Don Ihde parle à ce propos de « nontechnological virtuality » : cf. Don IHDE, *op. cit.*, p. 4-5.

[161] À ce propos Stamatia Portanova suggère la nécessité d'élaborer une pensée commune pour définir tantôt le virtuel comme paradigme technologique tantôt le virtuel comme paradigme pour la création du mouvement : « A definition of the virtual as an incorporeal potential for variation : […] in both technological and choreographic terms, the virtual can be thought as the unlimited potential that every numerical bit of a program, or every experiential bit of a dance (every gesture and step), has to change and be something » Stamatia PORTANOVA, *Moving without a body. Digital philosophy and choreographic thoughts*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2013, p. 9.

the computational operations that constitute it. Apparition of a grammar, such an image-language implies a characteristic spectrality affecting the visible-invisible relationship and structures the modalities of the use. From this point of view the digital image which can be multisensory, is not simply an image-of, […] it is rather a genetic relational form belonging to a multiple rendering system. The digital image is not, we could say, exactly an "image," but rather a body-image, because it is made up of […] character strings developing on different levels of a syntax which builds the coincidence of these strings and the sensible appearances, at present mainly sound or visual, but generally perceptible. »[162]

Cette définition du corps virtuel nous suggère une double forme d'hybridation. Le corps de synthèse est simultanément une forme d'abstraction (le codage) et une forme de persistance du corps physique (l'anatomie corporelle qui résiste tantôt comme fonction interactive tantôt sous forme de *feedback* audiovisuel). Il ne s'agit pas de deux niveaux totalement autonomes. Si d'un côté il est effectivement possible de modifier l'une de ces deux strates de manière indépendante (on peut agir de façon autonome sur la typologie de captation et sur la qualité de la rétroaction sensorielle), néanmoins cette modification réverbère sur la structure globale du processus interactif. En ce sens, il faut entendre les deux faces du corps de synthèse non pas selon un modèle de noumène/phénomène mais plutôt comme formes réversibles, l'envers et l'endroit, d'une même articulation[163]. Le même paradigme peut être appliqué au rapport corps de synthèse-corps physique. Les deux doivent être conçus comme covariances réciproques. La modification d'une des matrices sémantiques de l'interactivité (codage et *feedbacks* sensoriels)[164] produit en effet une répercussion remarquable sur la manière dont le *performeur* élabore la composition du mouvement aussi bien que sa présence scénique. En d'autres termes, la médiation technologique agit ici comme fonction déterritorialisante qui amène à une réorganisation générale de la corporéité. Ceci est dû au fait que l'interactivité régissant le corps de synthèse est issue d'une double modalité de dématérialisation et de

---

[162] Roberto DIODATO, "The virtual body", in Brunella ANTOMARINI et Adam BERG, *Aesthetics in present future. The arts and the technological horizon*, Lanham (Maryland), Lexington Books, 2013, p. 14-15.

[163] Les termes noumène et phénomène renvoient au dualisme classique de l'épistémologie occidental. Le phénomène représente les qualités apparentes des choses, tandis que le noumène en est l'essence objective.

[164] Comme on le verra à partir du prochain chapitre, parler de codage et de feedback c'est déjà une forme de simplification. En effet l'interface se constitue par une agglomération de "strates". On y reviendra plus en détail.

hyper-sensibilisation (ou de re-sensorialisation) du corps physique. Comme je l'ai mis en lumière à propos de trois cas analysés (Cunningham, Stelarc et Davies), le corps de synthèse présente un caractère hybride qui évoque simultanément les processus de virtualisation de l'anatomie corporelle et l'émergence d'une nouvelle sensorialité comme *output* (au sens informatique du terme) de l'interface. Cette polarité renvoie, d'ailleurs, à la dynamique circulaire caractérisant le rapport entre corps subtil et corps actuel. C'est bien grâce à cette identité fonctionnelle que la médiation technologique peut produire une prise de conscience des processus d'organisation anatomique en relation avec la catégorisation perceptive de l'environnement :

> « It is a paradoxical situation: the identity, the "self" of the user is at the same time de-corporized and ipersensibilized: to meet a "thin" body, you have to be outfitted with a "heavy" body; the abilities of the organic body must then be technologically increased. […] The human body–virtual body relationship does not restrain corporeity giving rise to a disembodied mind-gaze which is able to experience mental products that appear sensible only through technological prosthesis. On the contrary, the virtual environments with their "heavy" bodies interrelating with "thin" bodies tend to exalt the difference and the awareness of the difference from the usual body-environment relationships. »[165]

Si le processus de codage numérique comporte une virtualisation abstraite de l'anatomie corporelle, les *feedbacks* sensoriels rendent possible la prise de conscience d'un tel processus. La manière spécifique dont la captation du mouvement impose une redéfinition de la géographie sensorielle du corps implique pourtant deux modalités parallèles d'interaction entre corps physique et corps de synthèse. La première, le codage, reflète une sorte d'atomisation du corps[166]. À travers la modélisation numérique nous accédons à un niveau élémentaire de la constitution matérielle du corps qui nous permet d'agir sur les micro-unités du mouvement. En ce sens, une identité formelle entre corps physique et corps de synthèse se produit. Une

---

[165] *Id.*, op. cit., p. 17-18.

[166] « Les figurations (ou présences de synthèse) […] inhérentes aux dispositifs technologiques […] permettent la circulation et la multiplication des signes de la présence. Cette transformation comprend aussi un changement radical de la consistance matérielle du corps: on passe de la chair au numérique, mais, dans ce passage, on trouve une continuité qui permet de remonter à la structure élémentaire de tous les corps, à savoir les particules. », Enrico PITOZZI, "De la constitution du corps de synthèse sur la scène performative. Perception et technologies", *op. cit.*, p. 220.

identité qui est l'effet de la médiation technologique et qui permet de penser ces deux corps comme "agrégat des particules". Cette similitude nous suggère une continuité épistémologique et opérative du corps virtuel tantôt dans le mouvement tantôt dans les technologies numériques. Comme Stamatia Portanova le souligne, cette "atomisation" du corps, nous permet de repenser les connections fonctionnelles qui articulent la construction du mouvement et de projeter autrement l'image virtuelle de notre corps[167]. Un tel principe est particulièrement évident dans le travail de déstructuration des fonctions kinesthésiques de Cunningham. Tantôt l'utilisation créative de *Life Forms* tantôt l'emploi des systèmes de captation du mouvement, permettent de rendre visible certaines possibilités inscrites, au niveau potentiel, dans le mouvement et de repenser par conséquence la composition chorégraphique. De manière similaire, le travail *Improvising Technologies* (1999)[168] de William Forsythe semble renvoyer à une certaine analogie conceptuelle et opérative entre la virtualisation moléculaire du numérique et la déconstruction des unités morphologiques de l'anatomie corporelle. *Improvising Technologies* est un DVD-rom conçu comme outil pédagogique et analytique basé sur l'idée de montrer, ou bien de rendre visible les trajectoires du mouvement. À ce propos, les vidéos contiennent des exemples pratiques issus de la modalité de composition de Forsythe, dans lesquels aux mouvements des danseurs se superposent des lignes graphiques qui constituent une sorte de visualisation de la direction du mouvement à partir de la représentation de figures géométriques[169]. L'élément graphique rend intelligible la dynamique de

---

[167] « Every gestural unit is an aggregate of many microgestures, and presupposes multiple articulations of heterogeneous elements imbricated into each other (for example, the imperceptible movements of toes, ankles, knees, and legs as the different microscopic elements that compose a jump). The superposition of all the micro and macro gestures a body *could* activate gives us the virtual structure of its movements. This virtuality implies thinking the body as a structured map of all the possible (and impossible) articulations that are implicit in its composition, juxtaposing all the separate levels and systems of anatomy (skeletal, muscular, nervous, etc.), and drawing across these the complex plane of all the multiple, coexistent, sometimes incongruent vectors or tendencies. », Stamatia PORTANOVA, *op. cit.*, p. 9-10.

[168] William FORSYTHE et al., *Improvisation technologies [interactive multimedia]: a tool for the analytical dance eye/a CD-ROM*, Karlsruhe, ZKM, 1999.

[169] Cf. Steven SPIER (dir.), *William Forsythe and the practice of choreography: it starts from any point*, London-New York, Routledge, 2011. Voir également, Enrico PITOZZI, "De la constitution du corps de synthèse sur la scène performative. Perception et technologies", *op. cit.*, p. 208-211.

projection et de rétention qui régit la construction du mouvement et qui alimente l'imaginaire du danseur. De ce point de vue, l'émergence du corps de synthèse (la virtualisation graphique) montre et valorise cette virtualisation primaire qui agit au niveau du corps physique et qui permet la reconfiguration de l'anatomie corporelle.

L'utilisation des *feedbacks* audiovisuels représente une forme ultérieure de reconfiguration du corps. On peut parler ici d'un principe de *dislocation* multisensorielle, dans la mesure où l'interactivité numérique détermine « le déplacement de la corporéité physique en signes sonores et visuels » en conduisant à l'émergence d'un « nouveau degré de présence »[170]. Cette hyper-présence du corps se base sur une logique de l'*intensification* de l'*extension*. Le premier aspect concerne le fait que les *feedbacks* "intensifient" la fonction sémantique d'une certain partie du corps en imposant une nouvelle hiérarchie de l'anatomie corporelle. C'est par exemple le cas des capteurs des bio-signaux implantés dans le corps de Stelarc. Ces capteurs ajoutent des fonctions de contrôle et de projection à certaines parties du corps de l'artiste en lui permettant de gérer des informations externes (audiovisuels, data, servomoteurs, etc.). Même dans des cas moins extrêmes, la sonorisation ou la transfiguration visuelle du corps permettent globalement une redéfinition du schéma corporel du *performeur* ainsi qu'un enrichissement de sa pragmatique expressive. La logique de l'extension concerne plutôt le fait que les technologies interactives permettent une "sensorialisation" de certains aspects subtils ou microscopiques du mouvement. La sonorisation des signaux électriques à la base de la contraction musculaire (EMG) est un exemple de la manière dont le *feedback* sonore peut rendre visible quelque chose qui, autrement, ne serait pas autant perceptible[171]. Pour cela la fonction extensive et intensive des *feedbacks* sensoriels reflète donc une dynamique générale de visualisation qui entrelace visible et invisible, perception et imagination. Comme on l'a suggéré à propos du concept de chiasme intersensoriel (Merleau-Ponty, Bernard), nous sommes ici dans une logique intersémiotique et synesthésique qui nous invite à "écouter les gestes" ou à "voir les modifications internes

---

[170] Enrico PITOZZI, "Perception et sismographie de la présence" in Josette FÉRAL et Edwige PERROT (dir.), *Le réel à l'épreuve des technologies. Les arts de la scène et les arts médiatiques*, Rennes, Presses universitaires de Rennes, 2013, p. 245.

[171] On y reviendra à plusieurs reprises dans les prochains chapitres. Voir en particulier la première étude de cas présentée dans le chapitre 7. Cf. *infra*, p. 290-302.

du corps". Dans le seul domaine de la danse interactive, un grand nombre d'artistes ont élaboré, à partir des années 1990, une poétique de la multimodalité visant à bouleverser la logique de nos interactions sensorielles habituelles[172]. Comme on l'a vu à propos d'*Osmose*, des états internes, comme le sens de l'équilibre ou la respiration, sont amplifiés et transfigurés dans des paramètres de transformation de l'espace, en passant ainsi d'une fonction endogène à une fonction exogène. L'anatomie corporelle devient ainsi une fonction transformatrice de l'environnement audiovisuel.

En termes généraux, l'émergence d'un corps de synthèse comporte une redéfinition radicale du corps virtuel tantôt chez le *performeur* tantôt chez le spectateur. Pour le *performeur* il s'agit d'apprendre une nouvelle corporéité faite des corps sonores et des corps lumineux, des nouveaux états de la matière qu'il faut incorporer en repensant sa propre organisation anatomique. De ce point de vue, le performeur se trouve impliqué dans deux transformations parallèles : d'un côté les interactions médiatiques lui permettent de prendre conscience des processus physiologiques qui sont à la base du mouvement (la relation entre corps subtil et corps actuel), de l'autre les *feedbacks* audiovisuels comportent l'extension de la pragmatique corporelle selon une logique multimodale. Pour le spectateur un nouveau degré de présence émerge sur la scène comme conséquence de l'amplification des différents états corporels aussi bien que de la multiplication des signes expressifs. En ce sens, si le corps de synthèse est une forme d'actualisation transfigurée du corps virtuel (une possibilité parmi tant d'autres), on peut affirmer que les technologies interactives, en intervenant sur la modalité esthétique de la réception, mettent l'accent sur les processus plutôt que sur les formes. Sonorisant et visualisant les traces immatérielles du mouvement, en portant à la vision les tensions latentes qui entourent le geste, la médiation technologique permet de valoriser les processus poïétiques de l'anatomie corporelle tout en déstabilisant l'idée formelle du corps-organisme aussi bien que la fonction représentative de l'action[173]. L'émergence d'une telle logique de la perception est l'effet

---

[172] Cf. Steve DIXON, *op. cit.*, p. 183-208. Voir, parmi d'autres, les créations de Yacov Shavir, Troika Ranch, Palindrome Intermedia Group et Klaus Obermaier. Je reviendrai sur certains de ces travaux lors du quatrième et du cinquième chapitre.

[173] À ce propos, Enrico Pitozzi souligne que un certain utilisation de dispositifs technologiques en scène liés à l'interaction, comporte un passage, au niveau de la présence, de l'"action" à la "situation". Cf. Enrico PITOZZI, "Perception et sismographie de la présence", *op. cit.*, p. 253-256.

de l'entrelacement entre les mécanismes projectifs du corps subtil et du potentiel analytique et expressif du corps de synthèse.

Au contraire des oppositions traditionnelles des arts numériques (réel/virtuel, physique/numérique, présence/médiation, etc.), la tendance récente de la scène contemporaine, ainsi que les exemples historiques dont nous avons parlé, semblent valoriser la nature coextensive de la corporéité et de l'environnement technologique[174] selon ce qu'on pourrait définir une logique *énactive*[175]. C'est bien dans ce sens qu'on peut légitimer la définition de corps virtuel comme *écosystème incarné*. La nature intrinsèque des technologies interactives justifie cette expression selon au moins trois points de vue. Le premier consiste dans le fait que le corps de synthèse en tant que couplage de deux mouvements parallèles (le codage et le *feedback*) conduit à une valorisation des processus projectifs inscrits dans notre modalité d'organisation perceptive du mouvement. Ce principe s'enracine dans la construction « *fictionnaire* » (au sens de Michel Bernard) de l'espace[176]. De ce point de vue, la médiation technologique met en évidence la nature environnementale et relationnelle de la pragmatique corporelle expressive. D'autre part, le dispositif technologique lui-même doit être pensé non pas comme outil, au sens d'une entité singulière, mais plutôt

---

[174] Cf. *Id.*, p. 247-248.

[175] L'expression énaction [*enaction*] a été introduit Francisco Varela, Evan Thompson et Eleanor Rosch pour définir une une modalité de connaissance qui se structure à travers l'action réciproque entre l'organisme vivant et l'environnement : « The idea that mental processes are enacted is the idea that they are made up not just of neural processes but also of things that the organism does more generally–that they are constituted in part by the ways in which an organism acts on the world and the ways in which world, as a result, acts back on that organism », Mark ROWLANDS, *The New Science of the Mind. From Extended Mind to Embodied Phenomenology*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2010, p. 3. Cf. également Francisco VARELA, Evan THOMPSON et Eleanor ROSCH, *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*, Cambridge (Massachusetts) MIT Press, 1991. Je reviendrai dans le cinquième chapitre sur la notion d'énaction comme paradigme théorétique pour l'interprétation de l'expérience musicale.

[176] Ce principe est, comme on l'a vu, particulièrement crucial dans le travail de Char Davies mais il est autant présent dans d'autres créations comme par exemple *Apparition* (2004) de Klaus Obermaier, un travail qui se base sur l'utilisation d'un système interactif de génération graphique très sophistiqué permettant au *performeur* de créer l'environnement scénographique visuel en temps réel. Dans cette œuvre, l'environnement interactif n'est pas seulement une extension du mouvement du danseur mais un véritable partenaire pour la composition chorégraphique. Cette conception du dispositif comme environnement peut d'ailleurs être étendue à un grand nombre de créations.

comme environnement interactif exprimant une logique relationnelle[177]. Enfin, les *feedbacks* audiovisuels se présentent, du point de vue perceptif, comme un élément *atmosphérique* remplissant la scène. Il s'agit, d'ailleurs, d'atmosphères particulières puisqu'elles renvoient simultanément aux états éphémères de la matière et aux racines incarnées du mouvement. Cette nature hybride se manifeste sous forme de présence et entoure le *performeur* comme un fond semi-opaque à la limite entre visible et invisible. La corporéité qui émerge de la rencontre avec la médiation interactive reflète donc une anatomie déterritorialisée, une constellation de traces corporelles morcelées qui demeurent sur la scène sous forme de vibration sonore ou lumineuse. Selon une telle logique, l'anatomie virtuelle du corps émerge comme plan d'immanence, comme archétype du principe anatomique-environnemental dont les trois pôles que nous avons rencontré, corps subtil, corps actuel et corps de synthèse, en représentent les variations. Un tel archétype ne se situe pas avant les variations mais il co-naît avec celle-ci. Le corps de synthèse précise, amplifie et déstabilise le dispositif anatomique. La médiation technologique ajoute, en ce sens, un pôle de variation à la dynamique du virtuel. Plus précisément, les interactions qui règlent le rapport entre corps actuel, corps subtil et corps de synthèse doivent être pensées selon la métaphore du *jeu des miroirs*. Une dynamique de réfraction dans laquelle les différentes images ne sont pas des simples reflets, mais des projections transfigurées. Le corps virtuel est la synthèse, toujours mobile et insaisissable, de ces variations. Si cette dynamique des *miroirs déformants* réside naturellement dans notre organisation perceptive et connait une valorisation dans la performance[178], la médiation interactive ajoute un degré ultérieur de transformation - avec des modalités de transfiguration spécifiques - qui consiste à multiplier les points d'accès à la manipulation de l'anatomie. Les technologies interactives permettent de penser celle-ci comme principe de variation du mouvement, au-delà des limites physiques du corps.

---

[177] On reviendra sur cet aspect à la fin du prochain chapitre lorsqu'on parlera de définition *écologique* de l'interaction. Cf. *infra*, p. 126-130.

[178] Dans un autre contexte d'analyse, Victor Turner employait également la métaphore du miroir déformant pour définir la fonction réflexive, dans un sens transfigurant, de la performance culturelle. Cf. Victor TURNER, *Anthropology of performance*, New York, PAJ Publications, 1987, p. 21-32.

Chapitre 3

Les strates de l'interface.

Medium, feedback et interaction.

3.1 De l'ontologie de l'interface

Loin d'être une forme de suppression de la réalité physique, le virtuel renvoie à l'ensemble des processus projectifs qui règlent l'organisation perceptive du mouvement. Comme on l'a vu dans le chapitre précédent, la médiation technologique peut être conçue comme une modalité spécifique de virtualisation ayant pour but la stimulation du potentiel de réorganisation de l'anatomie corporelle. Dans cette perspective, le numérique, et les technologies interactives en particulier, ne représentent que des formes spécifiques d'extension et d'intensification des fonctions figuratives et expressives régissant la pragmatique corporelle expressive. Dans le présent chapitre, nous nous attarderons sur la spécificité technologique des interfaces interactives afin de préciser la portée esthétique et épistémologique de la médiation numérique et des processus d'incorporation concernés.

3.1.1 La variabilité comme paradigme constitutif de l'interface

Comme je l'ai suggéré auparavant, l'intérêt de s'attarder sur la spécificité des dispositifs technologiques reflète tout d'abord la nécessité d'en dévoiler les mécanismes épistémologiques. En effet, l'interface ne représente pas simplement une augmentation du pouvoir de manipulation de l'être humain sur l'écosystème. Chaque nouvelle prothèse comporte tout d'abord une manière d'être-au-monde inédite, et pourtant une nouvelle modalité de la pensée[179]. À ce propos, selon Lev Manovich, le numérique aurait introduit un bouleversement majeur dans notre perspective sur le réel :

> « In the 1990s, as the Internet progressively grew in popularity, the role of a digital computer shifted from being a particular technology (a calculator, a symbol processor, an image manipulator, etc.) to being a filter to

[179] C'est en ce sens que Mark Hansen parle d'une « nouvelle philosophie pour des nouveaux médias ». Pour Hansen le "décadrage" ontologique des nouveaux médias, dérivant des processus de numérisation du *medium*, ne révolutionne pas seulement le choix des moyens de transformation du réel mais affecte surtout le lien du produit avec la réalité représentée. En ce sens les médias sont tout d'abord des dispositifs épistémologiques car d'une part ils intègrent une vision du monde spécifique et d'autre art ils orientent perceptiblement notre manière de connaître la réalité. Cf. Mark B. N. HANSEN, *New philosophy for new media*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2004, p. 21-46.

all culture, a form through which all kinds of cultural and artistic production is being mediated. As a window of a Web browser comes to replace cinema and television screen, a wall in art gallery, a library and a book, all at once, the new situation manifest itself: all culture, past and present, is being filtered through a computer, with its particular human-computer interface. »[180]

Comme Benjamin l'affirmait déjà à propos de la technique de son époque, ce changement de paradigme est l'effet d'un double passage impliquant tantôt notre pouvoir de modification de la réalité tantôt l'influence de la technologie sur nos modalités perceptives[181]. La spécificité des interfaces numériques résiderait dans le fait d'être des entités *programmables*. Manovich appelle ce caractère la « variabilité » [*variability*] des nouveaux médias : à travers les processus de représentation et de codage de l'information nous sommes en mesure de manipuler de manière abstraite le contenu de la médiation. Une telle maniabilité est due, en premier lieu, à la séparation entre l'aspect formel et l'aspect matériel de l'interaction. À la différence de ce qui se passe avec un instrument mécanique (pensons à un instrument de musique) ou dans les processus de transduction analogiques, où l'énergie en sortie est proportionnelle à l'énergie en entrée, dans le domaine numérique les entrées [*inputs*] et les sorties [*outputs*] peuvent être considérées comme des variables non-dépendants. En effet, je peux utiliser des interfaces très différentes pour contrôler un même contenu numérique, tandis que, au contraire, une même interface peut être utilisée pour interagir avec des données textuelles, visuelles ou sonores assez diverses. En revanche, cette variabilité ne signifie pas une neutralité du système de transmission. Au contraire, l'indépendance formelle entre dispositif de contrôle et contenu numérique porte l'attention sur les protocoles de conversion et de représentation qui déterminent la relation *input*/*output*. En d'autres termes, la séparation entre forme et contenu comporte une radicalisation du potentiel transformatif des médias. Par conséquent, nous ne pouvons pas considérer le *medium* comme un simple transmetteur, comme le voudrait les approches dérivées de la théorie de

---

[180] Lev MANOVICH, *The language of new media*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2001, p. 75-76.

[181] Bien que le texte de Benjamin sur la technique ne présente pas cette thèse de manière systématique, il est toutefois claire que la reproductibilité technique comporte d'un côté part la transformation de notre perception esthétique (la perte de l'aura) et de l'autre l'accroissement de notre potentiel de manipulation et de contrôle (la reproductibilité). Cf. Walter BENJAMIN, *op. cit.*, p. 18-21.

l'information[182]. D'ailleurs, déjà Abraham Moles, avant McLuhan, soulignait que l'utilisation des modèles idéaux de transmission des signaux ne tenait pas compte de la complexité des transformations produites par le médium sur le contenu esthétique de l'information[183]. De la même manière, Manovich insiste sur le fait que le mécanisme de conversion n'est pas un canal de transmission neutre. On peut affirmer avec lui que le codage numérique implique un modèle spécifique de représentation de la réalité qui affecte pourtant le contenu du message :

> « In cultural communication, a code is rarely simply a neutral transport mechanism; usually it affects the messages transmitted with its help. […] A code may also provide its own model of the world, its own logical system, or ideology; subsequent cultural messages or whole languages created using this code will be limited by this model, system or ideology. »[184]

Néanmoins, le mécanisme de transformation représente pour Manovich, en accord avec l'héritage de McLuhan[185], un aspect général de toute forme médiatique. Bien que le numérique présente des caractères spécifiques qui dénotent une certaine vision du monde, ils s'inscrivent d'avantage dans le processus de médiation typiques de la culture occidentale. À la différence de Benjamin, qui voit, déjà dans la reproductibilité technique de son époque, un point de rupture ontologique, Manovich souligne plutôt la continuité avec d'autres dispositifs perceptifs et épistémologiques de l'histoire humaine, au moins à partir de la Renaissance. Selon l'auteur, la perspective géométrique, théorisée en peinture par Leon Battista Alberti[186], représenterait le premier dispositif technologique impliquant une réorganisation radicale de la vision du monde. Le tableau, tout comme les écrans d'aujourd'hui, ne seraient que différentes variations sur ce thème de l'écran en tant que dispositif orientant la vision : tous les deux représentent des interfaces de

---

[182] Claude E. SHANNON, "A Mathematical Theory of Communication" in *Bell System Technical Journal*, 27, 1948, p. 379-423 et 623-656.

[183] Cf. Abraham MOLES, *Théorie de l'information et perception esthétique*, Paris, Flammarion, 1958.

[184] Lev MANOVICH, *op. cit.*, p. 76.

[185] Marshall MCLUHAN, *La galaxie Gutenberg. La genèse de l'homme typographique* [1962], Paris, Gallimard, 1977.

[186] Leon Battista ALBERTI, *De pictura (redazione volgare)* [1435], Texte établi par Lucia BERTOLINI, Firenze, Polistampa, 2011.

médiation entre mon regard et le monde sensible[187]. Ce n'est pas par hasard si Manovich parle à ce propos de « généalogie des écrans » tout en remarquant la continuité épistémologique qui se développe dans l'histoire des dispositifs technologiques et culturels en Occident[188]. En effet, tout comme le codage numérique, le dispositif-tableau se base sur l'articulation des grilles binaires permettant de représenter l'environnement externe selon des protocoles formels (on pourrait aussi ajouter que la perspective géométrique invente, quelque part, la séparation épistémologique entre externe et interne que nous retrouvons dans les dispositifs actuels). Ce mécanisme de conversion, en déterminant la transformation du contenu *médialisé*[189], reflète en effet ces processus de numérisation qu'attribue aujourd'hui à l'interface. Cette thèse, qu'on peut définir comme *continuiste*, est d'ailleurs soutenue par d'autres auteurs. Olivier Grau, par exemple, souligne la continuité épistémologique, dans le domaine de l'art, des dispositifs visuels. Selon Grau, de la peinture murale romaine à la perspective géométrique, des panoramas baroques et modernes jusqu'à la réalité virtuelle, la convergence entre image et medium a été orientée depuis toujours par le désir de créer des formes de simulation de l'expérience à travers la réalisation de complexes environnements *immersifs* complexes[190]. Les espaces mutlisensoriels et interactifs créés grâce aux techniques informatiques modernes ne représentent qu'une version plus sophistiquée de ce désir d'illusion. De la même manière, Jay Bolter et Diane Grommela voient dans l'évolution des technologies de médiation l'expression d'une même recherche de « transparence », c'est-à-dire le désir de présence et d'immédiateté :

---

[187] Sur cet aspect aussi bien que sur la question de la phylogenèse du dispositif-écran, je renvoie à la réflexion approfondie de Mauro CARBONE, *Philosophie-écrans. Du cinéma à la révolution numérique*, Paris, Vrin, 2016.

[188] « VR, interactivity and telepresence are made possible by the recent technology of a digital computer. However, they are made real by a much, much older technology – the screen. It is by looking at a screen – a flat, rectangular surface positioned at some distance from the eyes – that the user experiences the illusion of navigating through virtual spaces, of being physically present somewhere else or of being hailed by the computer itself. If computers have become a common presence in our culture only in the last decade, the screen, on the other hand, has been used to present visual information for centuries – from Renaissance painting to twentieth-century cinema. » Lev MANOVICH, *op. cit.*, p. 99. Cf. également les p. 99-111

[189] Cf. *supra*, p. 62 note n. 106.

[190] Olivier GRAU, *op. cit.*, p. 2-23.

« The desire for transparency, strong in ancient Greece and Rome, grew even stronger in the centuries after the Renaissance. This desire led to the development of the technique of linear perspective, ascribed to the fifteenth-century painter Brunelleschi, who began a tradition of perspective painting that continued into the nineteenth century. Paintings, like digital applications, offer an experience, and perspective painting offered the same experience as the one now promised by virtual reality–the experience of "being there". »[191]

Cette tension vers la transparence, qui reste toujours un désir d'implication visuelle, se développe paradoxalement à travers l'augmentation des niveaux de médiation qui séparent le regard (ou le geste) de l'objet de vision (ou de manipulation). En ce sens, selon Bolter tous les médias depuis l'Antiquité s'articulent autour d'une dialectique entre transparence et opacité, entre le désir de voir et le désir de cacher. Chaque interface conçoit ce rapport de manière différente tout en absorbant les fonctions du *medium* précédent. Cette dynamique est appelée par Bolter « re-médiation » [*re-mediation*].[192] Même en reconnaissant les effets transformants des médias sur le message, Manovich, Grau et Bolter, juste pour citer les auteurs les plus influents, partagent une thèse substantiellement *continuiste* ayant pour but la mise en valeur de la continuité historique et épistémologique des formes de médiation.

---

[191] Jay D. BOLTER et Diane GROMALA, *Windows and Mirrors. Interaction design, digital art, and the myth of transparency*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2003, p. 35.

[192] « Digital visual media can best be understood through the ways in which they honor, rival, and revise linear-perspective painting, photography, film, television, and print. No medium today, and certainly no single media event, seems to do its cultural work in isolation from other media, any more than it works in isolation from other social and economic forces. What is new about new media comes from the particular ways in which they refashion older media and the ways in which older media refashion themselves to answer the challenges of new media. » Jay D. BOLTER et Richard GRUSIN, *Remediation. Understanding new media*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2000, p. 17. La référence au texte fondateur de McLuhan n'est guère gratuite. La logique de la re-médiation est en effet un des points-clé de la théorie des médias du sociologue canadien, surtout à partir de *Understanding Media*.

3.1.2 Vers une définition écologique : l'interface comme environnement technologique

Bien que la perspective proposée par Manovich, Grau et Bolter, révèle une forme de cohérence interne à l'évolution des interfaces, elle peut néanmoins être critiquée selon deux points de vue. La première problématique consiste dans le fait que cette thèse sous-tend une épistémologie éminemment visuelle et idéocentrique, tout en légitimant une définition de l'interface comme technologie de l'image. Ce n'est pas un hasard si les trois auteurs cités valorisent l'importance de la perspective géométrique comme clef de voûte pour comprendre les enjeux des nouveaux médias. De plus, l'insistance sur la dimension visuelle de l'interface réduit la problématique de l'interactivité aux seuls processus logiques et décisionnels concernants l'écran de l'ordinateur et les interfaces graphiques (*GUI*)[193], en oubliant tantôt le potentiel d'implication kinesthésique offerte par les technologies interactives, tantôt la fonction rétroactive du *feedback* sensoriel sur l'organisation perceptive. Même dans l'analyse des environnements de réalité virtuelle, l'aspect *immersif* de l'expérience sensorielle est, selon une perspective purement visuelle, limitée à la nature passive de l'interaction. Comme on l'a vu dans le chapitre précédent, l'expérience interactive peut au contraire valoriser la participation corporelle aux processus de médiation tout en induisant une réorganisation perceptive et figurative de la corporéité.

Une deuxième problématique concerne la fonction du *medium*. Pour McLuhan, les médias peuvent être définis comme « froids » ou « chauds » selon le niveau de participation qu'ils impliquent. Sans vouloir

[193] *Grafical user interfaces*. Le terme désigne des environnements graphiques permettant des interactions de haut niveau à partir de l'utilisation des objets graphiques conventionnelles. Ces interfaces, comme les environnement de bureau, permettent à l'utilisateur de dialoguer avec le système informatique avec des périphériques standard comme le clavier et la souris de l'ordinateur. Le système d'interaction à haut niveau, GUI, inventé au début des années 1970 par Xerox, a été popularisé en 1984 par la compagnie Apple.

s'attarder sur cette distinction et sur les exemples proposés à son époque par le sociologue canadien[194], cette définition implique un certain déterminisme technologique en relation à la fonction du *medium*. La thèse *continuiste* (Manovich, Grau et Bolter) s'appuie implicitement sur ce principe afin de définir une phénoménologie cohérente des nouveaux médias. Cependant, la variabilité ontologique des technologies numériques et interactives révèle, à mon avis, la possibilité d'orienter la "température" de l'interface en favorisant ainsi l'émergence de processus de dématérialisation ou, au contraire, d'incorporation, selon la manière dont on intervient sur les protocoles d'interaction. En ce sens, les effets dématérialisants ou incorporants de l'interface *reflètent le degré d'intervention de l'interacteur sur l'interface et non pas la typologie de l'interface*. La nature variable des interfaces numériques, permet, en effet, d'intervenir sur la structure de l'interaction en transformant ainsi le niveau d'implication dans la modification du contenu numérique. Notamment dans la pratique artistique, l'enjeu expressif de l'utilisation des nouvelles technologies réside dans la possibilité de détourner la fonction productive du *medium*. Une vision purement normative ne considère pas suffisamment le potentiel de subversion esthétique et politique du *medium* qui alimente la pratique artistique[195]. Si donc les interfaces traditionnelles reflètent une fonction fixe (avec un degré participatif défini préalablement) les interfaces numériques se caractérisent plutôt par une fluidité structurelle (au moins en puissance). Il ne s'agit pas, d'autre part, d'affirmer la neutralité du *medium.* Comme je l'ai précisé, chaque interface affecte, notre vision du monde ainsi que notre manière d'élaborer une certaine épistémologie. Néanmoins, l'accès à la maniabilité directe des processus de transformation numérique marque un point de rupture ontologique dans l'histoire des médias. Il faut préciser que la thèse *continuiste* se base surtout sur l'analyse des médias visuels, sur la fixité de leur fonction normative, et sur la description des formes d'interactivité qui ne comportent pas vraiment une

---

[194] McLuhan reprend métaphoriquement la distinction entre « cool jazz » et « hot jazz ». Les médias chauds seraient les dispositifs tellement riches du point de vue informationnel qu'ils ne permettraient pas d'interaction. Au contraire le médias froids demanderaient la participation de l'utilisateur pour compléter le processus interactif. Cf. le chapitre intitulé "Les média, chauds et froids" in Marshall MCLUHAN, *Pour comprendre les médias : les prolongements technologiques de l'homme*, *op. cit.*

[195] Comme l'artiste canadien David Rokeby le souligne : « While engineers strive to maintain the illusion of transparency in the design and refinement of media technologies, artists explore the meaning of the interface itself, using the various transformations of the media as their palette. », David ROKEBY, "Transforming mirrors: subjectivity and control in interactive media" in Simon PENNY (dir.), *Critical issues in electronic media*, Albany (New York), State University of New York Press, 1995, p. 133.

augmentation de la participation corporelle dans le processus de transformation du contenu numérique. Il faut alors mettre au centre de l'analyse le processus d'interaction afin de comprendre tantôt le niveau d'appropriation corporelle du dispositif technique tantôt la dimension rétroactive des *feedbacks* sensoriels. Cela nous amène à voir les technologies interactives non pas comme des outils (fixes, statiques, uni-fonctionnels) mais plutôt comme des environnements, ou, pour revenir sur la définition de virtuel que j'ai proposé dans les chapitres précédentes, des écosystèmes incarnés. Comme Johannes Birringer le précise à propos de l'utilisation des technologies interactives sur scène :

> « L'espace [de l'interaction] n'est pas "fixé" […] évolue au sein d'un réseau de relais et de réponses, et dans lequel les technologies et les médias génèrent des réalités perceptibles. *Interaction implique un environnement dans sa totalité*, et elle se dessine un monde à travers les *biofeedbacks* qu'elle reçoit en continu par le biais de stimuli sensoriels directs qui sont aussi manipulés techniquement (son, projection d'images, capteurs tactiles, ordinateurs-vêtements dont les systèmes informatiques sont intégrés aux textiles, etc.) »[196]

Cela implique un passage dans la définition de l'interface d'un point de vue purement technique à un autre plutôt écologique. En d'autres termes, il s'agit de déplacer le cœur de l'analyse du dispositif aux relations d'interaction. D'une manière similaire, Régis Debray parlait de médiologie, à savoir l'étude de « l'ensemble dynamique des procédures et [des] corps intermédiaires qui s'interposent entre une production de signes et une production d'événements »[197]. Cette définition nous convient puisque elle met l'accent sur la dimension "processuelle" de l'interaction tout en remarquant le fait que la médiation ne comporte pas seulement une transmission cognitive d'informations mais un ensemble dynamique d'actions et de réactions incarnées. En ce sens, il faut alors intégrer la corporéité dans l'analyse de l'interactivité numérique. Une telle perspective reflète d'ailleurs l'approche des arts vivants face à la médiation technologique. En règle générale on peut affirmer que l'art, et surtout les arts vivants, se situent dans un régime de subversion constante du dispositif numérique. Cette logique du détournement (voir par exemple

---

[196] Johannes BIRRINGER, "La danse et la perception interactives" in AAVV, *Nouvelles de Danse : Interagir avec les technologies numériques*, Bruxelles, Contredanse, 52, 2004, p. 101. Nous soulignons.

[197] Regis DEBRAY, *op. cit.*, p. 29.

l'usage que Stelarc fait des systèmes de captation) implique souvent la présence du corps comme vecteur de transformation affectant la fonction du medium. C'est bien dans cette transformation réciproque de l'*interacteur* (comme agent incarné) et de l'environnement technologique (comme système des seuils et des *feedbacks* sensoriels) qu'une dimension véritablement expressive peut alors se produire. Comme je le suggérais, la manière dont on intervienne sur la variabilité de l'interface, la façon dont on entre en relation avec l'environnement technologique, en le modifiant, détermine la "température" réelle du medium. La multisensorialité de l'interface, par exemple, ne représente pas forcement un facteur direct d'implication. Une hyper-stimulation sensorielle sans une véritable interaction ne produit qu'une saturation des informations perceptives. Au contraire, l'émergence d'une dimension interactive transforme la multisensorialité dans une multimodalité, à savoir une différentiation des modalités d'accès sensoriels aux processus numériques. À ce propos, Katja Kwastek définit deux manières différentes de concevoir l'interaction avec les médias numériques en référence à la pratique artistique. D'un côté, il y a les pratiques informées par les données [*data-intensive*] et de l'autre les pratiques informées par les processus [*process-intensive*]. Les premières se caractérisent principalement par l'usage des contenus sonores ou visuels enregistrés ou préenregistrés qui sont sélectionnés et agencés à travers l'interaction. Dans ce cas, l'*interacteur* (*performeur* ou utilisateur de l'interface) se limite à recomposer, selon des règles normatives, l'ensemble des configurations possibles. Au contraire, dans le contexte d'interaction *process-intensive*, le flux sonore et/ou visuel est généré en temps réel par l'*interacteur* selon le dialogue spécifique qu'il établit avec le système interactif[198]. Cette dernière modalité met l'accent sur la manière dont l'*interacteur* est affecté au niveau sensoriel par le *feedback*. En ce sens, on peut affirmer qu'une modalité *processuelle* de l'interaction et une définition écologique de l'interface favorisent l'émergence du potentiel d'énaction des nouvelles technologies. En d'autre termes, une approche véritablement interactive de l'interface permet d'utiliser l'environnement technologique afin de stimuler notre capacité corporelle à acquérir cette connaissance. Un tel processus détermine l'émergence d'un véritable entrelacement ente corporéité et environnement technologique. Mark Hansen utilise l'expression *body-in-code* pour dénoter cette dimension autopoïétique de l'anatomie virtuelle face aux nouvelles technologies :

---

[198] Cf. Katja KWASTEK, *Aesthetics of interaction in digital art*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2013, p. 114-115. L'auteur réélabore ces categories à partir du texte de Chris CROWFORD, "Process intensity" in *Journal of computer game design*, 1(5), 1987.

« [The use of interactive digital technologies] facilitate the actualization of the organism's potential to extend its bodily boundaries and to expand the scope of its bodily agency. Such technical mediation of the body schema (of the scope of body-environment coupling) is not a purely informational body or a digital disembodiment of the everyday body. I mean a body submitted to *and constituted by* an unavoidable and empowering technical deterritorialization - a body whose embodiment is realized, *and can only be realized*, in conjunction with technics. […] It is precisely through the vehicle of bodies-in-code that our contemporary techno-culture, driven by digital technologies, comes to constitute a distinct concrete phase in our contemporary technogenesis (our originally yet historico-technically differentiated coevolution with technics). »[199]

Selon Hansen, les nouvelles technologies créent des nouvelles possibilités de prise de conscience du corps à partir de l'affection provoquée par l'interaction sensorielle. En même temps, la nature étendue et immatérielle des interfaces numériques favorise l'incorporation des processus de traitement de l'information. Selon cette thèse, les nouveaux médias, et les technologies interactives en particulier, devraient favoriser l'émergence de ce que Hansen appelle une "spatialité haptique", c'est-à-dire un modèle de réalité centré sur les processus d'incorporation et sur l'expérience sensori-motrice, en opposition à une épistémologie purement *oculocentrique*. Si bien que cette fonction de l'environnement technologique ne peut pas être généralisée à toute forme de médiation numérique. Néanmoins, il décrit bien la trajectoire dans laquelle notre analyse de l'interactivité s'inscrit.

3.2 Caractéristiques du medium numérique

Avant de revenir sur les questions d'ordre épistémologique, je vais maintenant m'attarder sur les spécificités technologiques du *medium* numérique. Le but n'est pas de définir une taxonomie des dispositifs interactifs mais plutôt de mettre en lumière un certain nombre de caractères communs à toute interface. En ce sens, l'analyse des caractéristiques techniques du *medium* numérique devrait nous permettre de voir dans quelle mesure la "variabilité" constitue un aspect de rupture ontologique par rapports aux autres

[199] Mark B. N. HANSEN, *Bodies in code. Interfaces with digital media*, London-New York, Routledge, 2006, p. 19-20.

médias. À cet égard, je propose de définir l'interface numérique selon quatre aspects micro-structurels caractérisants - la représentation numérique, la modularité, l'automation et le principe de *transmédialité*[200] - ce que j'appelle *les strates de l'interfaces*.

3.2.1 Représentation numérique

D'un point de vue technique, la numérisation implique une représentation binaire de l'information en entrée selon deux différentes modalités de description quantitative : l'échantillonnage [*sampling*] et la quantification [*quantization*]. L'échantillonnage est la procédure permettant de traduire un certain signal continu en une représentation discrète. L'unité minimale d'une telle conversion numérique est l'échantillon ou *sample*, à savoir la valeur (ou l'ensemble des valeurs) qui décrit la position temporelle et/ou spatiale du signal analysé dans un certain instant. En se basant sur l'analyse des fonctions périodiques de Joseph Fourier (élaborée pour la première fois en 1822), le théorème de Nyqvist-Shannon introduit le concept de fréquence d'échantillonnage [*sample rate*] qui indique, d'un point de vue formel, les conditions nécessaires et suffisantes pour produire une description fidèle d'un signal continu[201]. L'échantillonnage de l'onde sonore en est un exemple remarquable[202]. La quantification est la procédure qui consiste à attribuer une valeur spécifique pour chaque échantillon à l'intérieur d'une plage préétablie. Le signal continu peut être théoriquement décrit par un nombre infini de valeurs. Avec la quantification on détermine le nombre de valeurs qu'on a à disposition pour représenter le signal en entrée. La fidélité de l'approximation est

---

[200] Les trois premiers aspects reprennent partiellement la classification proposée par Manovich, en étant néanmoins réélaborés d'une manière originale. La quatrième catégorie la "transmédialité" ne fait pas partie du corpus présenté par Manovich. Cf. Lev MANOVICH, *op. cit.*, p. 49-65.

[201] Claude E. SHANNON, "Communication in the presence of noise" in *Proceedings of the Institute of Radio Engineers*, 37(1), 1949, p. 10–21.

[202] Normalement on considère 44.100 Hz comme la fréquence d'échantillonnage standard pour obtenir une représentation fidèle du signal audio (la norme dérive de la fréquence adoptée par Sony à la fin des années 1970). Cela est dû au fait que le nombre des valeurs utilisées pour l'échantillonnage doit être au moins du double de la fréquence du signal émetteur. 44.100 correspond au double de la plage des fréquences perceptibles par l'être humain (20-20.000 Hz) plus une quantité relative à l'utilisation d'un filtre passe-bas pour éliminer d'éventuelles distorsions.

directement proportionnelle à la largeur de la plage (et donc au nombre de valeurs utilisées pour la quantification). La quantité et la largeur de chaque échantillon [*buffer size*] définit la qualité de la représentation de l'information[203].

Tantôt les objets générés numériquement tantôt les signaux analogiques convertis sous forme de données, constituent des unités ou des structures parfaitement abstraites. Cela implique que les objets numériques avec lesquels nous interagissons par le biais des interfaces sont formés par des *signes purs*. À l'inverse, parmi tous les signes qu'on peut trouver dans la nature, les signes numériques sont unidimensionnels. Même les signes culturels les plus abstraits comme l'alphabet ou les numéros possèdent toujours un référent sensoriel (par exemple leur aspect graphique). Au contraire, les objets numériques sont des structures formelles qui ne renvoient pas directement à une modalité sensorielle particulière. C'est bien dans la construction du processus interactif qu'une sensorialité est attribuée à une certaine représentation numérique (on reviendra sur cet aspect en parlant du principe de *transmédialité*). Cette qualité spécifique du numérique a deux implications remarquables. Tout d'abord, les objets numériques peuvent être décrits en termes complètement formels, ou bien ils peuvent être représentés selon des fonctions mathématiques et des procédures logiques et/ou opérationnelles. Ensuite, l'objet numérique est soumis à un processus de manipulation algorithmique. Cela implique que la modalité de transformation des données, codées par la machine, est autonome et indépendante de la sensorialité spécifique à travers laquelle l'information prend chair (qualité graphique, visuelle, sonore, etc.). Ces deux aspects, la représentation numérique et le codage au sens strict (c'est-à-dire le traitement et la manipulation de l'information), déterminent ce qu'on appelle la *programmabilité* des objets et des fonctions numériques.

---

[203] La problématique du *buffer size* est particulièrement importante dans la conversion analogique-numérique en musique (*analog-to-digital-conversion*, *ADC*) puisqu'il indique la latence dans le processus de reproduction en temps réel du signal audio. Une problématique similaire est celle de la résolution de l'image. Celle-ci est directement proportionnelle à la quantité des unités (pixels) qu'on utilise pour reproduire l'image à travers une matrice. Cf. David SALOMON, *A concise introduction to data compression*, London, Springer-Verlag, 2008. Je renvoie en particulier aux chapitres consacrés à la quantification de l'image et du signal audio : "Image compression" et "Audio compression", p. 143-246.

3.2.2 Modularité

Comme on l'a vu, les objets numériques sont constitués par des *samples* ou des *bit*, c'est-à-dire des unités discrètes qui peuvent être assemblées selon des processus algorithmiques. Cela nous renvoie au fait que le numérique introduit une "dimension moléculaire" qui nous permet de connecter, sur différentes échelles, des phénomènes très divers à partir de leur structure atomique. Une conséquence intéressante de la discrétisation de l'information est le caractère modulaire de cette structure. Tantôt les structures générées au niveau le plus bas de programmation, tantôt les agrégats de structures à haut niveau sont constitués par des configurations complexes dont les éléments de base sont *interchangeables* et *itératifs*. En informatique, on utilise les expressions "bas niveau" et "haut niveau" pour définir le degré de profondeur d'un certain langage de programmation. Les langages de bas niveau coïncident normalement avec le langage de la machine, ils permettent de modifier les objets et les fonctions numériques à partir de leur micro-structure. À ce niveau, il n'y a pas de processus d'abstraction (ou il y en a très peu) car le programme doit pouvoir interagir directement avec le processeur. Les langages de haut niveau constituent un ensemble très diversifié permettant de "coder" à travers des fonctions sophistiquées une variété assez étendue de processus numériques. Dans ce cas, des programmes intermédiaires sont utilisés entre le processus de programmation et l'exécution des instructions[204]. Ces langages permettent donc d'interagir avec des processus plus articulés utilisant des langages naturels, des fonctions complexes et/ou à travers la manipulation d'objets graphiques comme dans le cas de la programmation visuelle[205]. Il faut néanmoins

---

[204] « The "hello" program begins life as a high-level C program because it can be read and understand by human beings in that form. However, in order to run hello.c on the system, the individual C statements must be translated by other programs into a sequence of low-level *machine-language* instructions. These instructions are then packaged in a form called an *executable object program*, and stored as a binary disk file. Object programs are also referred to as *executable object files*. » Randal E. BRYANT et David R. O'HALLARON, *Computer systems. A programmer's perspective*, Upper Saddle River (New Jersey), Prentice Hall, 2001, p. 2.

[205] Par *VPL* (*Visual Programming Language*) on entend tous le environnements de programmation exploitant des système de codage basés sur l'utilisation des expressions visuelles, des arrangements spatiaux de texte et des symboles graphiques. Selon la nature de la syntaxe employée ils se divisent en *icon-based languages*, *form-based languages*, et *diagram languages*. Cf. Tiziana CATARCI et al., "Visual query systems for databases: a survey" in *Journal of Visual Languages & Computing*, 8(2), Elsevier, 1997, p. 215-260.

préciser que la distinction bas niveau/haut niveau n'est pas tout à fait stable et absolue. Il s'agit en effet d'une démarcation relative entre deux protocoles opérationnelles. Par ailleurs, cette relation a également été affectée par l'évolution historique des systèmes numériques. L'utilisation du langage C++ en est un exemple[206]. Même si lors de son apparition il a été conçu comme langage de haut niveau, car il se base sur l'utilisation d'abstractions très complexes, on peut le considérer aujourd'hui plutôt comme un langage de niveau intermédiaire. Cela est dû au fait que C++ est actuellement employé comme grammaire de base pour d'autres langages plus sophistiqués (ou simplifiés selon le point de vue) permettant des opérations de haut niveau. On peut prendre en exemple tous ces langages de programmation par objets qui intègrent la syntaxe de C++, ou d'autres langages similaires comme Javascript ou Python, dans l'architecture formelle de leurs objets-fonctions. Dans ce cas, de nombreuses fonctions complexes sont assemblées dans des objets qui sont à la base des algorithmes pour l'interaction en temps réel et la programmation multimédia (Quartz Composer, MaxMsp, PureData, pour ne citer que les logiciels les plus célèbres). En ce sens, on trouve un nombre très élevé de niveaux intermédiaires (théoriquement infinis) entre deux extrêmes putatifs : en bas, le langage-machine, en haut, l'interface graphique. L'aspect le plus intéressant de cette modularité structurelle réside dans le fait que de nombreuses fonctions ou objets peuvent être substitués de manière quasi-arbitraire ou répétés sur une échelle différente à l'intérieur de l'infrastructure numérique. Une certaine structure peut être utilisée tantôt comme configuration d'une chaîne de caractères [*string*], au niveau micro-structurel, tantôt comme configuration des fonctions complexes, à l'instar d'un processus sonore algorithmique. En ce sens il est alors possible d'imaginer des phénomènes ou des processus complexes

[206] Il s'agit du premier langage de programmation par objets créé par Bjarne Stroustrup en 1983 dans les célèbres Bells Laboratories. C++ a été conçu pour la programmation de systèmes et d'applications (ce qu'on appelle "programmation d'infrastructure"). C++ ajoute au programme standard de C une assistance pour la programmation orientée, la gestion des exceptions, des éléments de métaprogrammation, des modèles et une bibliothèque standard C++ qui comprend les algorithmes STL et d'autres applications générales d'installation. Cf. Randal E. BRYANT et David R. O'HALLARON, *op. cit.*, p. 89-92.

ayant une cohérence interne entre microstructure, structure intermédiaire et macrostructure[207]. De manière similaire, un même processus génératif peut être utilisé pour créer une structure sonore ou un *pattern* visuel (on reviendra sur cet aspect en parlant de *transmédialité*). Au ce sujet Manovich parle de « structure fractale des nouveaux médias »[208].

3.2.3 Automation

Un autre élément très spécifique du domaine numérique est celui de l'automation. Les processus automatisés caractérisent ces technologies exploitant des systèmes de contrôle afin de gérer des machines selon des instructions préétablies en réduisant ainsi l'intervention humaine dans les fonctions de calcul et d'exécution. Ces processus naissent avec la révolution industrielle et identifient une procédure générative typiquement *machinique*. Le terme s'affirme toutefois avec l'avènement des technologies informatiques pendant les années 1950 où l'automation devient la conséquence de la *programmabilité* des ordinateurs[209]. La notion d'automation semble se baser sur trois conceptions complémentaires : l'automation comme processus technique (par exemple une certaine fonction générative d'un algorithme), comme technologie au sens strict (c'est-à-dire une machine capable de se substituer au travail humain) et comme système d'intégration permettant de contrôler les fonctions de machines diverses. Toutes ces définitions reposent sur deux conditions majeures caractérisant le développement actuel des processus automatiques dans le domaine informatique : l'incorporation du travail indirect et l'incorporation des capacités sensorielles. Le

---

[207] Ce n'est pas par hasard si les tenants des avant-gardes des musiques électroniques des années 1950 rêvaient déjà, sans en avoir effectivement les moyens, d'une cohérence interne entre microstructure sonore et forme de la composition. Les instruments pour la génération électronique du son semblaient pouvoir les libérer de la « dictature du matériau » (Karlheinz Stockhausen) en créant une correspondance entre sons complexes et structures non-tonales. Ces espoirs s'avérèrent être des chimères. Cf. Pierre BOULEZ, « À la limite du pays fertile » dans *Relevés d'apprenti*, Paris, Seuil, 1966. Néanmoins, aujourd'hui la recherche d'une cohérence entre structure non-tempérée et structures mélodiques micro-tonales est rendue possible, grâce aux outils informatiques pour la composition assistée par l'ordinateur (à l'instar de *OpenMusic* ou de *Antefosco*).

[208] Cf. Lev MANOVICH, *op. cit.*, p. 51.

[209] Cf. Spyros G. TZAFESTAS, *Human and nature minding automation. An overview of concepts, methods, tools and applications*, Dordrecht, Springer-Verlag, 2010, p. 1-5.

premier aspect concerne le fait que, parallèlement aux fonctions productives, les machines peuvent également être impliquées dans le contrôle des processus et dans l'analyse du traitement des données. En deuxième lieu, les fonctions de contrôle réalisées par les machines s'appuient sur des capacités sensorielles similaires à ceux des êtres vivants[210]. La possibilité d'accomplir une véritable interaction entre un être vivant et l'ordinateur se base sur le fait que la machine devient capable d'acquérir et d'analyser des données sensorielles en répondant à celles-ci de manière cohérente. Ces capacités reposent, pour la majeure partie, sur la possibilité d'activer des opérations automatisées qui définissent le comportement (au sens psychologique) de la machine.

Étant donnée la nature modulaire des infrastructures numériques, les processus automatisés se déroulent, en outre, à différentes échelles selon le degré d'abstraction. Cela signifie qu'un certain processus automatisé peut être intégré dans une "fonction-objet" qui ne demande pas 'instructions normatives additionnelles pour accomplir sa tâche spécifique. En ce sens, au niveau de l'interaction avec l'interface graphique, la plus simple des opérations entraîne un nombre extrêmement élevé de procédures automatisées. En ce qui concerne par exemple la programmation par objets, les processus automatisés impliquent, grossièrement, l'écriture des algorithmes se déroulant à travers des fonctions temporelles. L'aspect temporel est une condition structurante de l'automation tantôt dans l'accomplissement de processus hautement redondants qui se basent sur le principe de la boucle, comme dans la génération de patterns sonores ou visuels répétitifs, tantôt dans des comportements complexes impliquant l'utilisation des fonctions semi-chaotiques comme dans les cas des automates cellulaires[211]. À plus haut niveau, la création de processus automatisés est facilement exploitable dans beaucoup de logiciels grand public pour la

---

[210] *Id.*, p. 25-26.

[211] L'automate cellulaire est un modèle mathématique utilisé pour décrire l'évolution des systèmes complexes discrets. Un automate est constitué d'une grille de cellules. Chacune d'entre elles peut prendre un ensemble fini d'états (par exemple, « vivant » ou « mort », une couleur, une forme, etc.). Pour chaque cellule, il est également nécessaire de définir l'ensemble des cellules qui doivent être considérées comme « proches ». Tous ces informations constituent l'état initial de l'automate cellulaire. Après un temps prédéterminé, chaque cellule change d'état en même temps que les autres, selon une règle fixe. La façon dont l'état d'une cellule change ne dépend que de son état actuel et des états des « cellules proches ». Cf. Stephen WOLFRAM, "Statistical mechanics of cellular automata" in *Reviews of Modern Physics*, (55)3, 1983, p. 601-644.

production audiovisuelle[212]. Depuis les années 1980, parallèlement au développement des recherches dans le domaine de l'intelligence artificielle (*AI*) et de l'interaction homme-machine (*HCI*[213]), de nombreux chercheurs travaillent également sur ce que l'on appelle l'automatisation « de haut niveau » dans les processus de création de médias. Cette forme d'interaction automatisée exige qu'un ordinateur comprenne, dans une certaine mesure, les significations intégrées dans les objets générés, c'est-à-dire leur sémantique, afin de produire un véritable dialogue avec un être vivant[214]. Par ailleurs, la question de l'automation nous renvoie directement au cœur de la problématique de la médiation dont j'ai traité certains aspects dans le deuxième chapitre[215]. Ce que j'ai défini comme « les effets de médiation » sont la conséquence de processus perceptibles, automatisés, qui échappent au contrôle direct de l'opérateur humain (dans notre cas le *performeur* sur scène). Si les processus automatisés permettent donc un traitement de l'information en temps réel hautement complexe, et indépendant de l'intervention humaine, l'enjeu semble alors être la manière dont l'interactivité permet de voiler la présence de l'automation (on y reviendra plus tard).

---

[212] La majeure partie des logiciels pour la production audio et vidéo permet de créer des automations pour pouvoir contrôler temporellement le traitement du signal acoustique ou visuel. Dans le logiciels grand public les processus automatisés sont souvent contrôlés graphiquement à travers des courbes et des lignes qui décrivent la qualité et la quantité de la variation paramétrique (à l'instar d'une variation de fréquence d'un filtre ou d'une diminution d'intensité dans la luminosité d'une image). Cf., parmi d'autres, Andrea PEJROLO, *Creative sequencing techniques for music production. A partial guide to Pro Tools, Logic, Digital Performer and Cubase* [2005], Oxford, Elsevier, 2011, p. 89-97.

[213] *HCI* est l'acronyme de *Human Computer Interaction* et indique un domaine de recherche interdisciplinaire intégrant la biomécanique, la physiologie, les neurosciences, l'informatique, la psychologie, le design etc. Cf. Brad A. MYERS, "A brief history of human–computer interaction technology" in *Interactions*, 5(2), 1998, p. 44–54.

[214] En se limitant au seul domaine musical, de nombreuses recherches ont été développées afin de créer des systèmes interactifs capable de répondre, de manière "intelligente", aux stimuli acoustiques produits par un musicien sur la base de l'analyse d'éléments spécifiques comme le tempo, la hauteur des notes et la dynamique. Déjà en 1984 Barry Vercoe développe un logiciel appelé "Synthetic Performer" capable de générer des structures musicales en temps réel sur la base d'une analyse élémentaire des éléments gestuels liés à la pratique instrumentale. Cf. Berry VERCOE, "The synthetic performer in the context of live performance", in *Proceedings of the International Computer Music Conference*, Paris, 1984, URL : http://web.media.mit.edu/~bv/papers/synthetic%20performer.pdf. Pour un aperçu général sur l'état de l'art dans ce domaine je revoie à Jorge SOLIS et Kia NG (dir.), *Musical robots and interactive multimodal systems*, Berlin, Springer-Verlag, 2011, voir en particulière les p. 143-268.

[215] Cf. *supra*, p. 62-66.

3.2.4 *Transmédialité*

Comme nous l'avons vu, les processus de représentation numérique permettent de transformer un signal analogique en un flux de données composé par des unités discrètes. Ces unités, ces *samples*, sont des signes purs constituant des configurations formelles (spatiales et/ou temporelles) n'ayant pas de connexion préétablie avec un contenu sensoriel spécifique. Cette neutralité sémantique est la condition de possibilité pour l'émergence de ce que je définirais un *isomorphisme numérique*[216]. La notion d'isomorphisme implique la correspondance biunivoque entre deux ensembles ou structures complexes qui partagent une même configuration formelle. De la même manière, le codage numérique permet de connecter deux sources sensorielles différentes à travers un principe d'interaction. Dans toutes les formes d'interaction homme-machine, ce processus implique au moins trois niveaux : les *entrées* (flux d'informations allant de l'homme vers la machine), la phase de numérisation et de codage de l'information[217] et les *sorties* (flux d'informations allant de la machine vers l'homme). L'isomorphisme numérique se réalise dans la mesure où un certain signal en entrée (par exemple la variation de la hauteur d'un son) devient la base pour la manipulation d'un autre signal en sortie (par exemple la luminosité d'une image). Un tel processus permet donc de réaliser des transformations intermédiales d'un domaine perceptif à un autre. Notamment dans les systèmes interactifs en temps réel, l'interface devient alors le point de contact et de connexion entre deux systèmes sensoriels qui, en partageant une même configuration

---

[216] Je réélabore cette notion à partir d'un texte de Armando Menicacci qui utilise cette expression en parlant de la relation entre danse et nouvelles technologies : « Le codage numérique permet […] de transformer toute chose en une autre : l'image en son, le son en texte ; le geste fait bouger l'architecture, ou devient texte, etc. […] *Ces caractéristiques isomorphiques du numérique* […] sont injectées dans les espaces de la performance en danse et les transforment, créant de nouveaux environnements » : Armando MENICACCI, "[Nouvelles] espèces d'espaces. Réflexion autour du lieu de performance traversé par le numérique" in *Quant à la danse*, Marseille, Images en Manœuvres Éditions, 2006, p. 29. Nous soulignons. Voir également Emanuele QUINZ (dir.), *Interfaces*, Paris, Anomos, 2003.

[217] Ce passage implique en effet nombreux niveaux intermédiaires : le système de captation, le filtrage et la représentation des données, la manipulation de l'information et le *mapping* (on y reviendra de manière approfondie dans le prochain chapitre).

morphologique, se définissent par différence[218]. Comme on l'a évoqué à plusieurs reprises, la numérisation ainsi que le processus de codage représentent une forme d'atomisation permettant un changement d'état de la matière. Il faudrait parler de *transsubstantiation numérique*[219], au sens étymologique du terme, afin d'expliciter ce processus de transformation de substances. La *transmédialité* consiste alors dans ce système d'interdépendances qu'on peut créer au sein du domaine numérique[220]. Par ailleurs, cette notion ne coïncide pas intégralement avec celle de multimédia. Cette dernière n'indique en effet que l'utilisation, dans une œuvre d'art tout comme dans une interface, de plusieurs canaux sensoriels ou de plusieurs médias. La *transmédialité* implique en plus une interaction micro-structurelle entre les différentes composantes sensorielles. À ce propos, Marc Leman utilise l'expression « multimedia micro-integration » pour définir cette typologie d'interaction profonde qui s'éloigne d'une simple juxtaposition des médias :

> « In the modern concept, multimedia are no longer conceived of as a juxtaposition, the placing together, both synchronically and diachronically, of different media related to sound, acting, decor, and lighting, but rather as a micro-integration, or close linkage, of different media. *This micro-integration is possible because of computational platforms that allow the processing of different media at different levels of description which are mutually exchangeable, from low-level descriptions of physical energy to high-level content-based descriptions of artistic expressiveness*. Micro-integration […] allows the parameters of musical expressiveness to be extracted from one modality, say sound, and then to be reused in another modality, for example, in computer animation, where it is used to modify the expressive movement of an avatar on a screen. »[221]

---

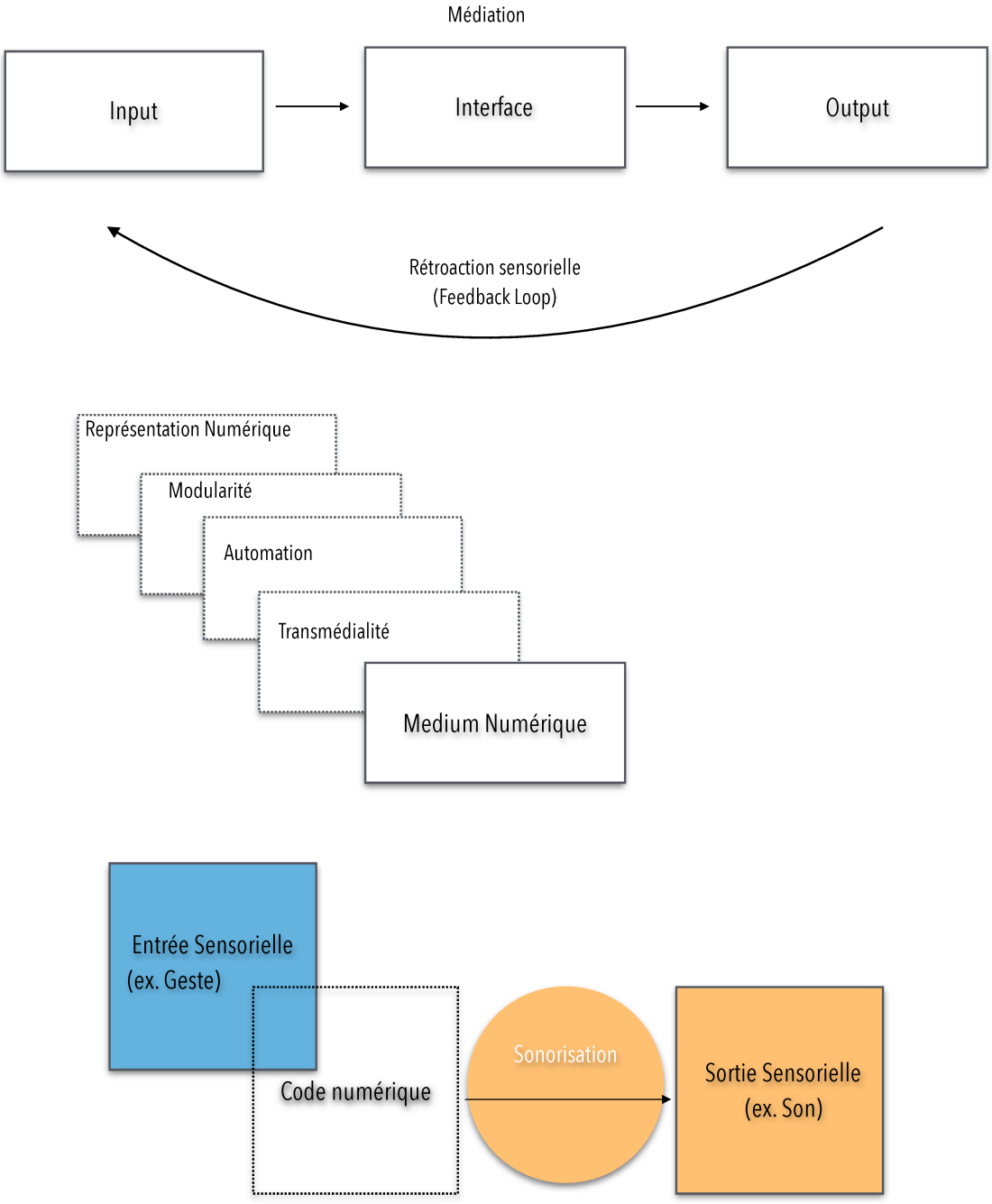
[218] Cf. Emanuele QUINZ, "Les strates de l'interface" in *Bil BO K Magazine des errances* contemporaines, 27, 2006.

[219] Le terme, utilisé dans la doctrine catholique indique la transformation, au moment de la consécration eucharistique, de la substance du pain et du vin dans le corps et le sang du Christ. L'origine du mot émerge néanmoins dans la théologie du XIII[e] siècle et il donc lié à la tradition philosophique de la scolastique médiévale.

[220] Je reprends le terme "transmédialité" du texte de Johannes BIRRINGER, "La danse et la perception interactives", *op. cit.*

[221] Marc LEMAN, *Embodied music cognition and mediation technology*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2008, p. 140. Nous soulignons.

Schéma 3 - Strates de l'Interface



Identité morphologique ou *Isomorphisme* et principe de ***Transmédialité***

3.3 La notion d'interactivité

Comme on l'a vu, les quatre caractéristiques principales du *medium* numérique (représentation et codage, modularité, automation et *transmédialité*) définissent la variabilité de l'interface. Cette ouverture constitutive de l'interface numérique représente une rupture ontologique majeure par rapport aux autres médias. Toutefois, la variabilité représente une différentiation en termes purement structuraux. Ce qui m'intéresse maintenant de mettre en lumière est comment cette nouveauté ontologique implique également une redéfinition de l'expérience perceptive. Comme je l'ai précisé ailleurs, la problématique technologique nous intéresse lorsqu'elle exprime une forme épistémologique et une modalité perceptive spécifiques. De ce point de vue, la question de la *transmédialité* nous a permis d'introduire une forme particulière d'intégration entre plusieurs modalités sensorielles. Il faut maintenant étendre la problématique de l'interdépendance générative des médias sensoriels du point de vue de l'infrastructure numérique à celui de la perception. Par cela, il faut s'attarder sur le rapport entre interactivité et *feedback* sensoriel. À ce propos, une première distinction entre interactivité et multimédialité semble être nécessaire. Comme Roberto Diodato nous le rappelle, « la multimédialité indique une particulière richesse représentative d'un environnement médiatisé » tandis que « l'interactivité désigne le niveau d'implication des *interacteurs* dans la modification de la forme et du contenu de l'environnement médiatique »[222]. La notion de multimédialité peut être pensée selon deux facteurs constitutifs : l'*amplitude* (le nombre de champs sensoriels impliqués simultanément) et la *profondeur* (la qualité des perceptions ou des informations sensorielles). L'interactivité implique, à son tour, trois facteurs spécifiques : la *vitesse* (le temps exigé par l'environnement médiatique pour assimiler l'information), la *complexité* (le nombre de possibilités d'actions offertes par un certain environnement médiatique) et le *contrôle* (la capacité du système de vérifier de manière "naturelle" ses propres fonctions)[223]. L'équilibre et l'harmonie de tous ces

---

[222] Roberto DIODATO, *Estetica del virtuale*, Milano, Bruno Mondadori, 2004, p. 12. Nous traduisons. Cf. également l'édition en français du texte : Roberto DIODATO, *Esthétique du virtuel*, Paris, VRIN, 2011.

[223] Sur ces caractéristiques je renvoie également à Pier Cesare RIVOLTELLA, "La multimedialità" in Cesare SCURATI (dir.), *Techniche e significati. Linee per una nuova didattica formativa*, Milano, Vita e Pensiero, 2000, p. 219-258. Les définitions proposées par Diodato reprennent expressément les catégories élaborées dans ce texte.

facteurs définit ce qu'on appelle la *transparence* de l'interface. Dans une certaine mesure, le niveau de transparence peut coïncider avec le niveau d'immersion, notamment dans le cas des réalités virtuelles ou mixtes. L'immersion désigne en effet le degré de participation de l'*interacteur* avec l'environnement numérique. Le haut niveau de stimulation sensorielle et la cohérence de l'interaction peut induire une forme de croyance, une sorte de « foi perceptive » dirait Husserl[224], qui alimente la sensation de *présence*[225]. Cependant, la nature de l'expérience *immersive* diffère en quelque sorte de ce qu'on a appelé la transparence de l'interface. Toutes les deux s'enracinent en une certaine immédiateté de l'expérience interactive. Toutefois, l'*immersivité* se caractérise principalement pour une réception passive du flux sensoriel. La transparence de l'interface implique toujours un léger écart, une imperceptible forme de distance qui se traduit dans une activité consciente.

3.3.1 Le mythe de la transparence

Si l'équilibre entre les différents facteurs qui caractérisent l'interactivité et les *feedbacks* sensoriels produit une sensation de présence[226], à savoir une connexion intime entre mon système sensori-moteur et l'environnement technologique, la prépondérance des mécanismes *machiniques* sur l'ensemble des actions détermine, au contraire, une impression de médiation. Dans le contexte des arts vivants, la sensation de médiation émerge comme effet de la prédominance des processus automatisés sur le jeu performatif. On pourrait affirmer que toute création artistique impliquant tantôt des éléments live tantôt des médias numériques se structure autour de la relation entre immédiateté et médiation. Pour Bolter et Grusin,

---

[224] Cf. Edmund HUSSERL, *L'idée de la phénoménologie : cinq leçons* [1907], Paris, PUF, 1997.

[225] « The technological goal […] can be achieved through the interplay of hard- and software elements, which address as many senses as possible to the highest possible degree with illusionary information via a ''natural,'' ''intuitive,'' and ''physically intimate'' interface. According to this program of illusion techniques, simulated stereophonic sound, tactile and haptic impressions, and thermoreceptive and even kinaesthetic sensations will all combine to convey to the observer the illusion of being in a complex structured space of a natural world, producing the most intensive feeling of immersion possible. », Olivier GRAU, *op. cit.*, p. 14-15.

[226] Il me semble opportun de souligner que la sensation de présence peut être en quelque sorte comparée à la sensation de *flow*. On fera référence à cette notion à partir du sixième chapitre. Cf. *infra*, p. 252 note n. 543.

l'histoire même des médias peut être interprétée selon cette dialectique entre *opacité* et *transparence* de l'interface, ce qu'ils appellent une « double logique de la ré-médiation »[227]. Selon cette hypothèse, la transparence serait tout d'abord un « désir de voir à travers » qui coïncide, à son extrême limite, avec la disparition de l'interface elle-même :

> « Virtual reality, three-dimensional graphics, and graphical interface design are all seeking to make digital technology "transparent". In this sense, a transparent interface would be one that erases itself, so that the user is no longer aware of confronting a medium, but instead stands in an immediate relationship to the contents of that medium. »[228]

Olivier Grau appelle ce genre de transparence « a perfect medium of illusion » en se référent, lui aussi, à l'histoire des dispositifs de vision en Occident[229]. Si la transparence repose sur la disparition du *medium* au profit d'un sens d'immédiateté de l'interaction, l'opacité s'avère être ce sentiment qui accompagne la prise de conscience de la médiation. Celle-ci est souvent l'effet d'un degré élevé de complexité des processus automatisés. Du point de vue phénoménologique, la transparence de la médiation se caractérise par l'intelligibilité de l'interaction et par l'immatérialité de l'interface. Au contraire l'opacité se manifeste comme une impossibilité à établir un dialogue interactif avec le contenu de la médiation. Comme nous l'avons souligné, l'art peut prendre conscience d'une telle opacité pour en faire un élément de sa pragmatique expressive. L'utilisation des prothèses bio-mécaniques ostentatoires chez Stelarc reflète un tel désir de rendre visible l'opacité du medium.

Bien que la problématique de la transparence puisse être considérée comme liée à toute l'histoire des formes médiatiques, elle acquiert une importance remarquable avec l'affirmation des technologies

---

[227] Cf. Jay D. BOLTER et Richard GRUSIN, *op. cit.*, p. 2-15.

[228] *Id.*, p. 23-24.

[229] The idea of a « perfect medium […] is the starting point for historic illusion spaces and their immersive successors in art and media history. They use multimedia to increase and maximize suggestion in order to erode the inner distance of the observer and ensure maximum effect for their message. », Olivier GRAU, *op. cit.*, p. 17.

informatiques. Le nombre élevé de strates de médiation qui caractérisent les interfaces numériques, pose en effet la question de la manière dont une forme d'interaction intelligible et satisfaisante peut s'établir. Cela constitue, à mon avis, un aspect structural de l'interface numérique. Il s'agit de ce rapport apparement paradoxal pour lequel le niveau de transparence du medium numérique est souvent directement proportionnel à la complexité des processus algorithmiques et des formes d'abstraction et de médiation qui régissent le fonctionnement du système interactif. C'est probablement pour cela que la problématique de la transparence de l'interface, tout comme la question de l'interactivité, se sont imposées comme enjeux majeurs au sein du débat sur le numérique. De même que la recherche artistique, la production grand public d'interfaces numériques semble courir après ce désir de transparence[230]. Le développement croissant de dispositifs impliquant une quelconque forme d'interactivité entre système et utilisateur réponde à cette demande d'inclusion, d'implication et de participation médiatiques. Le terme interactif, lui-même, a commencé à être employé à partir de la fin des années 1990 pour désigner une panoplie de médias et de processus *médialisés* très différents, en produisant l'illusion d'une chevauchement *de facto* entre numérique et interactif[231]. Ce désir omniprésent d'interactivité reflète ce que Bolter et Gromala appellent « le mythe de la transparence »[232].

---

[230] « Many innovative ideas of media art have long since been overtaken by developments of the mass media. Suffice it to mention Nam June Paik, who, in 1993, accused Bill Clinton of having stolen his 1974 concept of a "Data Highway" by promising an "Information Highway" during the 1992 presidential campaign. More recently, new game consoles like Nintendo's Wii and Microsoft's Xbox Kinect have revived models of embodied interaction that Myron Kruger proposed in the 1970s », Katja KWASTEK, *op. cit.*, p. 2.

[231] « "Interactivity" is a much used and abused term, and one which by the turn of the millennium had become an increasingly meaningless buzzword in myriad contexts. Andrea Zapp makes the point that interaction now "codifies a post-modern aesthetic slogan, which describes a technical condition as 'dynamic hands-on-experience." But levels of interactivity were and are often highly exaggerated in the marketing of both commercial products and, in many cases, artworks. If one turns on a light switch, the process is interactive - something is received in exchange - but no real dialogue takes place. » Steve DIXON, *op. cit.*, p. 561.

[232] Jay D. BOLTER et Diane GROMALA, *op. cit.*, p. 30-56.

3.4 Différents paradigmes d'interaction

Étant donnée la diversification sémantique et médiologique du terme interactif, il me semble opportun d'en préciser les significations aussi bien que les conséquences en termes analytiques. Le terme interaction est, comme on le sait, une expression très générale désignant « la capacité d'un système à établir une relation avec son environnement »[233]. De ce point de vue, le terme regroupe un nombre extraordinairement vaste de comportements biologiques et sociaux impliquant un échange d'informations entre deux (ou plus) êtres vivants. D'ailleurs, le terme interactivité ne devrait pas se référer à une simple communication. Le processus interactif se caractérise d'avantage pour une affection réciproque des acteurs en jeu. Une telle affection ne produit pas seulement une transmission de données mais une réorganisation dynamique des comportements respectifs. En ce sens, la notion d'interactivité rappelle en quelque sorte celle de performance au sens de pratique expressive. Toute comme dans le cas de la performance, une véritable interaction implique une *communication par l'action*. Ce n'est pas par hasard si Bolter et Gromala évoquent le fait qu'une véritable interactivité, surtout dans le contexte du numérique, nécessite « participation performative ». Pour être interactif le design numérique doit être expérimenté sous forme de connaissance sensori-motrice[234]. Le contexte de l'expérience artistique semble être, depuis toujours, le lieu électif de l'interactivité, qu'elle soit l'interaction entre artiste et publique ou entre deux *performeurs* sur scène. Avec l'entrée du numérique en art, la notion d'interactivité est souvent assimilée à la nature participative de certaines créations, à savoir la capacité du public de devenir co-auteur de l'œuvre ou au moins d'être impliqué dans la modification du contenu *médialisé*[235].

---

[233] Miguel LOPEZ et Grégory SERONT, "Sur une précision de la notion d'interactivité dans les systèmes informatiques" in *Interagir avec les technologies numériques*, *op. cit.*, p. 75

[234] Cf. Jay D. BOLTER et Diane GROMALA, *op. cit.*, p. 157-158. Cette définition est également utilisée par Dixon à laquelle il consacre une chapitre entier de son ouvrage : "Performing interactivity" in Steve DIXON, *op. cit.*, p. 559-598.

[235] « All art is an interaction between the viewer and the artwork, and thus all artworks are interactive in the sense that a negotiation or confrontation takes place between the beholder and the beheld. […] Where digital interactive artworks and performances differ is in the ability of the user or audience to activate, affect, play with, input into, build, or entirely change it. », Steve DIXON, *op. cit.*, p. 559.

D'autre part, il est évident que le terme interactif prend une signification tout à fait originale et spécifique lorsque l'on parle de systèmes informatiques. On pourrait supposer qu'étant donnée la nature génétiquement opaque du *medium* numérique - due à la complexité des processus d'hyper-médiation et d'automation - l'interaction se présente comme un plan de communication non-évidente, un lien qu'il faut construire. Comme je l'ai noté, toute forme de transparence de l'interface, même la plus aboutie, garde une marge de distance entre l'*interacteur* et le *medium*. La profondeur de cet écart est liée à la qualité et à la typologie de l'interaction. Il faudrait alors parler de degrés d'opacité et de transparence de l'interface. En dépassant ce seuil qui nous signale la présence de l'interface, nous commençons à faire l'expérience de l'immersion. Une autre condition semble caractériser l'interactivité numérique. En parlant d'interaction avec un système informatique, on suppose une certaine autonomie (et aussi une certaine résistance) du système. En ce sens, le terme interaction admet toujours la présence d'un environnement capable d'élaborer une réponse à notre *input* à l'intérieur d'un écart spatio-temporel. C'est en ce sens que l'on parle de *rétroaction*. Au-delà de toute application sémantique du terme, l'expression interaction caractérise d'abord les systèmes informatiques capables de rétroaction. Ce n'est pas un hasard si ce terme apparaît dans la littérature scientifique avec la naissance de la cybernétique vers la fin des années 1940. Si bien que la *programmabilité* des processus numériques avais déjà été théorisée par Alain Turing[236], c'est seulement avec la modélisation du concept de *feedback* que le paradigme de l'interaction entre être vivant et système informatique émerge[237].

3.4.1 Définition structurelle

Étant données ces prémisses, je propose d'analyser l'interactivité de l'interface numérique selon quatre perspectives complémentaires : *structurelle*, *procédurelle*, *fonctionnelle* et *écologique*. La première perspective fait référence à la définition que j'ai proposé plus en haut : l'interactivité peut être décrit en terme de vitesse, complexité et contrôle. Tous ces facteurs caractérisent l'organisation interne de l'interface,

---

[236] Alain TURING, "On computable numbers" in *Proceedings of the London Mathematical Society* 42(2), 1937, p. 230-265.

[237] Cf. Norbert WIENER, *Cybernetics or the control and communication in the animal and the machine* [1948], Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 1961, p. 95-115.

c'est-à-dire la manière dont les différents aspects du medium numérique (représentation, modularité, automation et transmédialité) sont agencés. La vitesse est la quantité relative exprimant la puissance de calcul de l'ordinateur. Dans le cas de l'interaction, elle définit le temps nécessaire au système pour élaborer un *feedback* en réponse à l'*input*. Dans un régime idéal le laps de temps qui sépare les entrées de les sorties doit être proche du zéro[238]. La complexité désigne la quantité de calculs nécessaires pour coder l'information en entrée. Évidement, ce facteur agit sur la vitesse de transmission. En termes structuraux, une grande complexité de programmation peut être nécessaire pour rendre l'interaction intelligible tandis qu'au contraire, une simplicité excessive dans la construction du processus interactif peut rendre le dialogue avec le système insatisfaisant. La complexité - en tant que processus - doit donc être considérée en fonction du contrôle. Le contrôle indique la capacité de l'*interacteur* à agir sur les processus de transformation de l'information numérique. Si on parle d'interaction gestuelle, le contrôle sera relatif au nombre de processus que je peux activer avec des mouvements précis. D'ailleurs, un contrôle excessivement micro-structurel, c'est-à-dire une très grande complexité des variables contrôlées en même temps, rend les processus de transformation non-intelligibles car ils échappent alors à une appréhension globale synthétique, intuitive et holistique.

3.4.2 Définition procédurelle

Comme on le voit cette définition d'interactivité en termes de vitesse, de contrôle et de complexité, nous informe simplement sur des aspects structuraux de l'interface. L'interactivité est ici reportée aux seuls processus de transformation de l'information (codage) et, par conséquent, à l'infrastructure formelle du *medium*. Essayons donc de déplacer l'attention du système au sujet actif de l'interaction afin de spécifier les différentes modalités à travers lesquelles l'*interacteur* établit un dialogue avec le système informatique de l'interface. Il s'agit de définir cette conversation homme-machine en termes procéduraux. Quatre modalités peuvent être mises en lumière selon le degré d'ouverture du système : *navigation*, *participation*,

[238] En ce qui concerne les *feedbacks* sonores, il suffit que ce temps soit inférieur à 20 ms. Ce niveau indique en termes psycho-acoustiques le seuil au-dessous duquel deux phénomènes distincts sont perçus comme provenants de la même source sonore.

conversation, *dialogue*[239]. La « navigation » est la forme d'interaction la plus simple. Elle identifie des systèmes dont les procédures d'usage sont très claires et ne demandent pas un temps d'adaptation et de prise en main. Ici on est confronté à une interface principalement opaque (souvent un écran, que ce soit l'écran d'un ordinateur ou d'une tablette, ou un écran interactif dans une galerie d'art) dont les possibilités d'interaction gestuelles sont très limitées (clavier, souris, interactions tactiles). La logique sous-jacente à ce type d'interaction est celle de l'hypertexte, à savoir une narration variable dont les possibilités réelles d'interaction sont limitées à une macrostructure préétablie et le niveau d'implication se réduit aux processus logiques et décisionnels. La nature des *feedbacks* n'a pas une importance remarquable en termes d'organisation perceptive. La modalité « participative » incorpore les réactions de l'utilisateur de l'interface dans le développement du processus interactif. Un grand nombre d'installations interactives se réfèrent implicitement à ce paradigme[240]. D'autres exemples viennent aussi du monde de la performance[241]. Ici l'interaction est préalablement conçue - par le designer ou l'artiste - en termes de possibilités d'actions. Au niveau technique, il s'agit alors d'introduire des systèmes de captation capables d'acquérir des informations complexes concernant le mouvement. La typologie de *feedback* produit (sonore, visuel, etc.) a ici une certaine importance puisqu'il induit une focalisation de l'attention sur une modalité d'interaction sensorielle spécifique. En termes d'organisation de l'interaction, l'*interacteur* apprend le fonctionnement de l'interface à travers des procédures exploratoires qui lui permettent d'acquérir des informations sur la capacité du système à produire des rétroactions. La modalité de la « conversation » représente une évolution de la modalité participative en direction d'une autonomie adaptative du système. Ici les processus algorithmiques utilisés sont suffisamment sophistiqués pour déclencher un véritable dialogue avec l'*interacteur*. Le *feedback* sensoriel n'est pas ici perçu comme un simple effet causal. La "réponse" du système semble être la conséquence d'une interprétation contextuelle. Bien évidement, la transparence de l'interface devient ici

---

[239] Les noms des catégories sont inspirés de la taxonomie des processus interactifs présentée par Steve Dixon. Néanmoins je propose ici une ré-élaboration originale et personnelle. Cf. Steve DIXON, *op. cit.*, p. 559-598.

[240] Je citerais à titre d'exemple *Glowflow* de Myron Kruger (1974), la première installation interactive de l'histoire qui a inspiré quelques ans après la naissance de la Réalité Virtuelle.

[241] Voir le cas de la pièce *Brain Opera* (1996) de Tod Machover dans laquelle le publique est censé, pendant certaines sections du spectacle, intervenir de manière participative en déclenchant, par le biais de dispositifs interactifs, des bandes sonores.

plus problématique étant donnée la complexité des processus automatisés en jeu. La modalité « dialogique » concerne la relation homme-machine aussi bien que l'interaction avec d'autres participants. Dans ce dernier cas le processus interactif est le résultat d'une conversation étendue entre différents *interacteurs* et leur environnement technologique[242]. Ici les procédures d'interaction sont complexes et demandent une connaissance préalable du dispositif (les participants sont normalement informés sur les procédures à suivre avant d'entrer dans l'espace interactif). D'autre part, une certaine liberté dans l'exploration empirique reste fonctionnelle au bon développement de l'interaction. Une modalité « collaborative » émerge lorsque l'interactivité permet au public ou à plusieurs artistes de devenir co-autour de l'œuvre. Souvent, cette modalité implique la coexistence des autres modalités interactives que nous avons rencontrées (certaines ou toutes). Les procédures demandées peuvent pourtant être très variées selon le contexte. Opacité et transparence du medium peuvent également s'alterner. Ici les formes d'interaction avec le système informatique reflètent certaines dynamiques issues de la tradition du *happening* et de l'expérimentation des avant-gardes (surtout américaines) des années 1960. Sous cette catégorie on peut inclure tantôt des spectacles impliquant *performeurs* qui communiquent par le biais de réseaux tantôt des installations impliquant le public comme élément central de création. L'œuvre *Fractal Flesh* (1995-96) de Stelarc, dont j'ai parlé dans le deuxième chapitre, en est un exemple.

3.4.3 Définition fonctionnelle

Comme on le voit, une définition procédurelle des différentes typologies d'interaction nous aide à comprendre le rôle de l'*interacteur* face au système informatique. Cependant, ce niveau d'analyse ne nous donne pas assez d'informations à propos de la relation qui s'établit entre les deux systèmes impliqués dans l'interaction (l'être vivant et l'environnement technologique). Par conséquent, il s'avère nécessaire d'analyser la notion d'interactivité selon une perspective fonctionnelle. Comme je l'ai souligné en parlant de rétroaction, tout système interactif se caractérise par la capacité de "réagir" à un certain nombres

[242] Un bon exemple est *Sensuous Geographies* (2003), installation interactive de Sarah Rubidge dans laquelle chaque participant produit un son particulier en relation avec son positionnement dans l'espace aussi bien qu'avec la distance qu'il entretient vis-à-vis des autres participants. On reviendra sur ce travail dans le cinquième chapitre.

d'événements prédéfinis. À ce propos, Miguel Lopez et Gregory Seront notent que la plupart des systèmes programmés par l'homme, bien que réactifs, sont souvent incapable de répondre à des événements nouveaux, c'est-à-dire des événements qui échappent aux configurations préétablies. Cela correspond alors à ce que l'on appelle un « manque de *proactivité* du système »[243]. De ce point de vue il est possible de distinguer, au sein de la notion d'interactivité, une fonction réactive et une fonction proactive. La première qualifie les systèmes émetteurs d'un *feedback* en réponse à un événement produit par un autre système (l'environnement ou un être vivant). Au contraire, la définition du système proactif s'applique à ceux capables d'émettre une action qui n'est pas une réponse directe à un événement de l'environnement. Ces actions peuvent être des réponses à un événement qui n'a pas encore eu lieu mais qui a déjà existé au moins une fois, ou des réponses à un événement qui n'a jamais existé. En ce sens un certain degré de *proactivité* (je fais particulièrement référence à la première typologie, c'est-à-dire une réponse à une action qui a déjà eu lieu au moins une fois) peut être introduit dans les systèmes interactifs pour la scène.

Une question se pose donc. Dans quelle mesure peut-on qualifier d'interactifs les interfaces numériques et surtout les systèmes employés dans le contexte des arts? En quels termes est-il possible de parler d'interactivité lorsqu'un *performeur* utilise des dispositifs de captation du mouvement? Un nombre remarquable d'artistes représentatifs de la scène numérique pendant les années 1990 et 2000 ont également remarqué la nature problématique du terme interactif. Robert Wechsler, chorégraphe et directeur artistique de la Compagnie Palindrome Intermedia Performance Group, pionnier de la danse interactive, souligne que le danseur « qui crée des sons par son mouvement n'interagit pas ». Il faudrait dire que « le son réagit » au danseur, « l'environnement réagit, mais n'interagit pas encore. Il s'agit d'automatisation en réalité, pas d'interaction »[244]. D'une manière similaire, Mark Coniglio directeur de la Compagnie Troika Ranch, qui a longtemps travaillé sur l'utilisation des nouvelles technologies en scène, affirme qu'une véritable interactivité n'existe pas dans le domaine du numérique. Tout comme pour Wechsler, Coniglio observe que l'ordinateur réagit à la proposition du *performeur*. En ce sens, il n'est pas

---

[243] Miguel LOPEZ et Gregory SERONT, *op. cit.*, p. 72.

[244] Robert WECHSLER, "Les ordinateurs et la danse: retour vers l'avenir?" in *Nouvelles de Danse : Danse et nouvelles technologies*, *op. cit.*, p. 154-155.

réellement interactif mais il répond selon un éventail de possibilités pré-déterminées[245]. Sarah Rubidge, artiste numérique et chorégraphe, souligne également la nature problématique de la notion d'interactivité. Si d'un côté tout art est interactif, de l'autre il est assez difficile de définir la spécificité de l'interactivité numérique en termes fonctionnels. En ce sens, selon Rubidge, les seules créations véritablement interactives sont celles qui impliquent des systèmes informatiques permettant l'interaction du public avec l'œuvre : « une œuvre interactive est une œuvre qui réagit directement aux actions des spectateurs ou auditeurs ou "utilisateurs", et qui est […] transformée suite à ce processus »[246].

3.4.4 Définition écologique

Considérant la spécificité du contexte des arts numériques et de la performance, une analyse purement fonctionnelle de la notion d'interactivité pose des problèmes en termes d'application. En particulier, il faut souligner que la distinction entre réactif et proactif ne considère la relation entre systèmes que d'un point du vue statique. Au contraire, la nature temporelle des processus d'incorporation de l'interface nous suggère la possibilité d'entendre le rapport *interacteur*-système informatique en termes dynamiques. En ce qui concerne le contexte de la performance, il y a en effet au moins deux raisons pour considérer cette relation selon un point de vue évolutif : d'un côté la présence de processus d'improvisation et de l'autre l'incidence des *feedbacks* sensoriels sur la réorganisation de l'anatomie corporelle. La définition d'interactivité proposée par Katja Kwastek il me semble intéressante de ce point de vue. Selon l'auteur, l'interaction peut être caractérisée selon trois couples principaux : échange en temps réel et présence, contrôle et *feedback*, sélection et interprétation[247]. Comme on le voit, cette définition permet d'intégrer, en quelque sorte, les différentes modalités d'analyse proposées ainsi que de préciser le rôle des nouvelles technologies en scène : l'échange en temps réel évoque la relation fonctionnelle, le contrôle rappelle la structure de l'interface tandis que la sélection renvoie aux procédures d'accès à l'interaction. Les trois autres facteurs associés nous

---

[245] Patricia KUYPERS et Florence CORIN, "Entretien autour d'Isadora avec Mark Coniglio et Dawn Stoppiello" in *Interagir avec les technologies numériques*, *op. cit.*, p. 121-123.

[246] Sarah RUBIDGE, "Action, réaction et interaction. Examen des spectacles de danse interactifs faisant appel aux nouvelles technologies" in *Id.*, p. 54.

[247] Katja KWASTEK, *op. cit.*, p. 7.

permettent, d'autre part, de décliner l'interaction en termes d'expérience perceptive qui se déroule dynamiquement. L'échange en temps réel, par exemple, peut avoir lieu seulement s'il produit une présence. Celle-ci n'est pas une condition immédiate, mais le résultat d'une acquisition graduelle des *feedbacks* sensoriels. Ce processus amène le *performeur* à développer une connaissance somatique de l'interaction. Le terme contrôle indique, du point de vue de l'*interacteur*, la capacité d'exploiter l'ensemble des possibilités d'actions offertes par le système informatique. En ce sens, le *feedback* ne représente pas simplement le réponse à une action, mais le biais à travers lequel le *performeur* prend conscience, dynamiquement, des processus interactifs. Cette forme de connaissance possède une nature éminemment corporelle. La sélection des éléments d'interaction est l'effet d'un processus d'interprétation. Bien que ce terme renvoie tout d'abord à une analyse logique et rationnelle des informations, dans le contexte performatif/technologique, le processus d'interprétation doit se référer principalement à la connexion entre stimulus externe et proprioception. En ce sens, le choix des actions finalisées à la production par exemple d'un *feedback* sonore est l'effet d'une affection kinesthésique qui se développe, principalement, par le biais de l'expérience empirique[248].

Une telle approche à la notion d'interactivité peut être définie comme écologique puisqu'elle intègre l'expérience perceptive de l'*interacteur* à l'analyse de la capacité de réponse du système informatique. Dans cette perspective, la rétroaction sensorielle à un rôle remarquable. Comme on l'a mis en lumière, le *feedback* n'a pas, au moins dans le contexte spécifique de la performance, une fonction simplement réactive. La matérialité sonore, graphique ou lumineuse du *feedback* représente le vecteur d'une redéfinition de l'anatomie corporelle. De ce point de vue, le système informatique n'est pas perçu comme une machine mais comme un environnement capable de déclencher un véritable dialogue entre le *performeur* et l'espace. C'est en ce sens, phénoménologique plus que technologique, qu'on peut parler d'interaction :

> « L'interactivité nous oriente vers une nouvelle compréhension des environnements relationnels, une esthétique de la relation fondée sur l'interaction physique ainsi que sur une nouvelle kinesthésie

[248] On reviendra sur cette problématique dans le dernier chapitre de la thèse en parlant de processus de création.

technologique. Concevoir de nouvelles interfaces numériques pour la danse signifie organiser un espace sensoriel et intelligent pour des actes communicatifs qui sont fondamentalement versatiles et imprévisibles. »[249]

Comme je le soulignais, l'importance du *feedback* sensoriel comme outil de modification corporelle peut être valorisée dans le contexte de l'improvisation. L'improvisation permet en effet d'exploiter au maximum le potentiel transformant de l'interaction en temps réel à travers une modalité ouverte de dialogue avec l'environnement. L'improvisation (corporelle, musicale, etc.) implique en effet une double condition d'écoute et d'action qui favorise l'émergence de nouvelles formes gestuelles, vocales, motrices, etc.[250] D'ailleurs, la plupart des performances interactives intègrent des processus d'improvisation dans la structure de l'œuvre. Dans certains cas, l'improvisation peut devenir lui-même le cœur du processus créatif de la pièce, comme par exemple dans le cas de *Touchlines* (2001) de la Compagnie Palindrome[251]. Cette importance de l'improvisation repose sur l'ouverture structurelle des nouveaux médias, sur leur variabilité. À la différence des instruments de musique, les interfaces numériques ne possèdent pas un caractère idiomatique[252]. Bien que le *performeur* puisse apprendre, dans une certaine mesure, le fonctionnement du dispositif ainsi que les possibilités d'interaction, la complexité du système favorise la valorisation d'une dynamique d'écoute et d'action mêlées. En d'autres termes, l'improvisation permet au *performeur* de rester ouvert aux événements qui se déroulent dans l'espace en se laissent modifier par ceux-ci. De ce point de vue, ce n'est pas simplement le système qui réagit aux mouvements du *performeur*, mais c'est plutôt ce dernier qui réagit

---

[249] Johannes BIRRINGER, *op. cit.*, p. 101.

[250] « L'improvisation peut être considérée comme une forme d'art interactif […] dans la mesure où les interprètes doivent en permanence évaluer et réévaluer les changements qui se produisent au cours du dialogue qui se déroule entre eux et leur environnement », Sarah RUBIDGE, *op. cit.*, p. 54-55.

[251] Il s'agit d'une pièce dans laquelle le public participe à la création sonore de la pièce à travers un système de captation optique permettant aux spectateurs de déclencher des sons en bougeant les mains au-dessus de leurs têtes. Cf. Robert WECHSLER, "O, body swayed to music… (and vice versa)" in *Leonardo*, MIT Press, 30(5), 1997, p. 385-389.

[252] On utilise le terme idiomatique pour souligner la manière dont les instruments traditionnels de musique s'accompagnent d'un répertoire de gestes musicaux connu et appartenant à la syntaxe particulière de chaque instrument. On y reviendra dans le cinquième chapitre. Cf. *infra*, p. 218-222.

aux stimuli produits par l'environnement[253]. Par conséquent, le *feedback* sensoriel ne représente pas, au moins dans le contexte performatif, une forme de communication univoque du système au sujet de l'interaction. Le *feedback* active un processus circulaire, une boucle transformante, qui évolue dynamiquement dans le temps au fur et à mesure que le *performeur* incorpore les stimuli sensoriels. Erika Fischer-Lichte exprime cette dynamique interne au jeu performatif avec l'expression *autopoietic feedback loop*[254]. L'auteur applique cette notion à la performance théâtrale pour définir la nature processuelle du rapport acteur-public, en soulignant comment cette relation alimente des processus de transformation tantôt chez les premiers tantôt chez les seconds. L'expression renvoie au terme *autopoiesis*, introduit par Varela et Maturana pour définir l'auto-organisation dynamique des organismes vivants par rapport à l'environnement externe[255]. Le terme *feedback loop* évoque évidemment les processus interactifs de systèmes informatiques. Cette notion peut nous aider à comprendre dans quelle mesure les médias interactifs peuvent alimenter une dynamique de transformation évolutive de la pragmatique corporelle. Comme nous l'avons remarqué, le *feedback* n'est pas simplement perçu comme une réponse passive au mouvement. L'interaction avec l'environnement technologique rétroagit sur l'organisation perceptive du mouvement. Il convient de souligner que ce genre de causalité rétroactive se déroule selon une perspective diachronique, impliquant donc une évolution temporelle dans la relation entre système causatif et effet produit[256]. Le *feedback* ne rétroagit pas directement sur le mouvement qui l'a produit. Néanmoins, il affecte la structure générale de l'anatomie corporelle en transformant les conditions d'apparition du mouvement suivant. En ce sens, l'interaction met en lumière la nature dynamique des processus d'organisation perceptive du mouvement ainsi que le potentiel adaptatif de la corporéité. Selon une telle perspective

---

[253] « [Les *feedbacks* sensoriels] nous encouragent à créer une réaction et même si la complexité et la densité du flux continu nous submergent, nous aveuglent ; nous découvrons aussi à travers cet art interactif comment nos corps neurobiologiques peuvent s'adapter à des environnements riches en informations et organiser leur créativité au-delà de nos habitudes perceptuelles », Johannes BIRRINGER, *op. cit.*, p. 113.

[254] Cf. Erika FISCHER-LICHTE, *The transformative power of performance. A new aesthetics* (2004), London-New York, Routledge, 2008, p. 11-38.

[255] Cf. Humberto R. MATURANA et Francisco J. VARELA, *Autopoiesis and cognition. The realization of the living* [1972], Dordrecht, D. Reidel, 1980.

[256] On reviendra sur l'application de cette notion au contexte de l'improvisation lors du dernière chapitre. Cf. *infra*, p. 387-391.

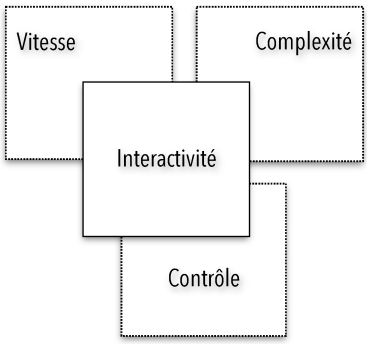
écologique, la médiation technologique permet de valoriser la nature poïetique de la corporéité tout en déstabilisant l'idée formelle de corps-organisme comme individualité statique et préétablie :

> « Du point de vue de l'expérience, l'*interacteur* ne réagit pas au système en tant que système […] mais aux nuances de l'environnement (l'univers) généré par le système en réponse aux mouvements. Tandis qu'il bouge, ses réactions modulent la configuration du système qui génère la modification de l'environnement et donc de l'atmosphère régnant dans l'environnement. L'*interacteur* réagit au nouvel environnement en adoptant un comportement différent qui reconfigure de nouveau l'environnement, ce qui modifie encore l'atmosphère - et ainsi se poursuit le dialogue entre l'œuvre et les interprètes. »[257]

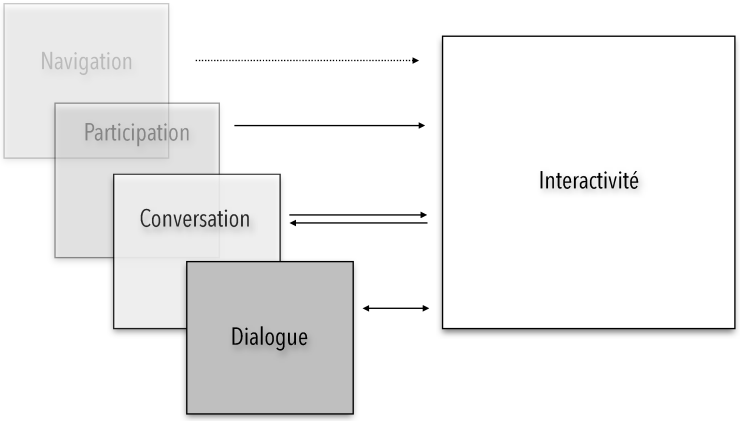
[257] Sarah RUBIDGE, *op. cit.*, p. 58.

Schéma 4 - Définitions d'interactivité

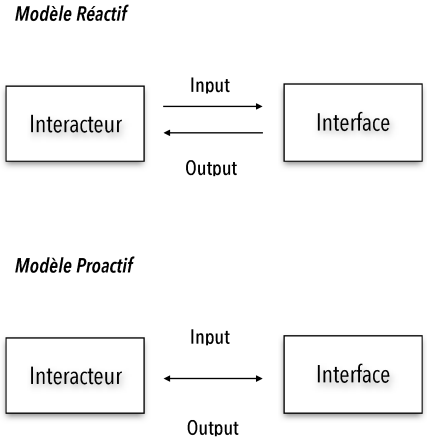
1. Définition Structurelle



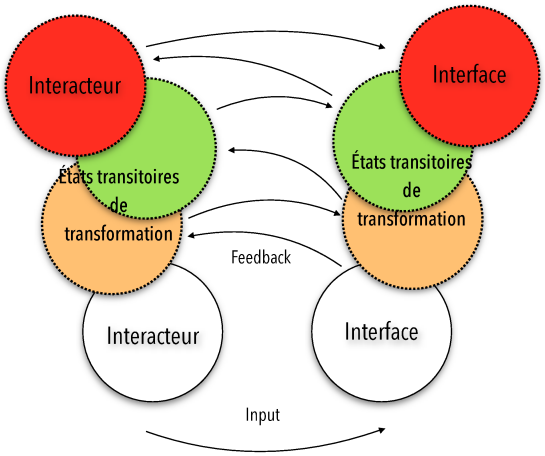
2. Définition Structurelle



3. Définition Fonctionnelle



4. Définition Écologique



Deuxième Partie

Dispositifs

Chapitre 4

La captation du mouvement.

Modèles, systèmes et dispositifs pour l'analyse et le mapping.

4.1 La captation du mouvement

Après avoir éclairé les différents problématiques ontologiques qui règlent le rapport entre corps et interface technologique, je vais maintenant approfondir de manière plus concrète la nature des dispositifs interactifs. Dans cette deuxième partie, notre analyse se focalisera sur la relation entre son, mouvement et médiation technologique. Dans ce chapitre, je vais présenter d'avantage les différents systèmes de captation du mouvement ainsi que la problématique du mapping entre geste et son. Dans les chapitres successifs, je vais analyser dans quelle mesure la médiation technologique ainsi que les théories récentes sur l'expérience musicale permettent de repenser le rapport entre son et mouvement. Dans le sixième chapitre je présenterai l'apport du *feedback* sonore interactif dans des contextes non-strictement musicaux comme par exemple la pédagogie du mouvement.

Le premier passage consiste à définir les typologies de dispositifs utilisées dans le contexte interactif ainsi que les stratégies employées dans la construction de l'interaction son-mouvement. Cet approfondissement, nous permettra de décliner les argumentations épistémologiques élaborées dans la première partie de la thèse à partir des éléments concrets liés à la pratique musicale (au sens large du terme, comme on le verra). Comme on l'a suggéré dans le chapitre précédent, l'interface se compose de *strates* : représentation numérique, modularité, automation et *transmédialité*. L'agencement de ces strates définit le potentiel d'interactivité de l'interface. D'autre part, selon une perspective écologique, l'interactivité réelle de l'interface doit tenir en compte également la possibilité pour l'*interacteur* d'être modifié par la rétroaction des *feedbacks* sensoriels. Selon une telle perspective, il faut considérer l'interface comme un dispositif environnemental générant des processus *émergents*. Généralement, on appelle *émergent* des processus donnant lieu à de nouvelles formes d'organisation, ou à de nouvelles propriétés structurelles, qui ne sont pas réductibles, d'un point de vue ontologique, aux causes matérielles qui les ont produits[258]. En d'autres termes, l'émergence dénote une certaine autonomie des interactions complexes par rapport aux niveaux inférieurs d'organisation (quelle que soit la relation entre une société et les individus que la compose, ou bien le rapport entre la matière et les éléments qui régissent son architecture moléculaire).

---

[258] Mark A. BEDAU et Paul HUMPHREYS, *Emergence: contemporary readings in philosophy and science*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2008, p. 1-7.

Dans le cadre de notre analyse, ce qui m'intéresse de mettre en lumière est le fait que la rétroaction autopoïétique produit une réorganisation inédite de l'anatomie virtuelle du *performeur*. Pourtant le caractère « émergent » de l'interface se définit par rapport au niveau d'incorporation de l'*interacteur*. Dans cette perpective, l'interface doit être conçue non pas en termes d'instrument ou d'outil. Elle représente un *medium* particulier capable d'évoquer la nature du processus de l'interaction. L'interface n'est donc pas seulement un environnement : elle est aussi processus. À cet égard, Katja Kwastek propose d'utiliser l'expression *apparatus* au lieu d'*outil* ou d'*instrument*. Le terme *apparatus* désigne le caractère évolutif [*process-based*] de l'interaction numérique. D'ailleurs, il désigne également la capacité du système à générer des niveaux de réalité multiples qui imposent une réorganisation constante de la relation *interacteur*-environnement[259].

La nature évolutive de l'interface permet d'intervenir sur les différentes strates qui la composent. Les principes que j'ai présenté (représentation numérique, modularité, automation et *transmédialité*) ne représentent qu'un aspect de l'architecture "par strates", à savoir *les modalités d'agencement de l'information*. Dans les prochaines pages j'analyserai un autre aspect de l'architecture par strates de l'interface c'est-à-dire *les modalités de transformation de l'information*. Comme on l'a déjà remarqué, l'interface constitue idéalement le point de contact entre l'*input* produit par l'*interacteur* et l'*output* généré par le système informatique. Ce point de contact se compose en réalité de plusieurs niveaux de transformation diachroniques et synchroniques. La première de ces strates est représentée par le système de captation, c'est-à-dire l'ensemble des dispositifs permettant de détecter, d'analyser et de traduire un certain signal analogique pour le transformer ensuite en données numériques. La deuxième strate est celle du *mapping*. Le mapping est, à son tour, un processus complexe impliquant le filtrage, le codage et la

[259] Cf. Katja KWASTEK, *op. cit.*, p. 169-171.

représentation paramétrique de l'information acquise[260].

4.2. Différents systèmes de captation

Comme on la vu dans le premier chapitre, le mouvement est un phénomène extrêmement riche impliquant différents niveaux d'informations physiques, figurative, expressives et symboliques, voire linguistique, qui s'entrelacent les uns dans les autres[261]. La captation et l'analyse du mouvement représentent une manière spécifique de re-élaborer formellement cette complexité. Le choix des capteurs utilisés constitue la source primaire d'une telle formalisation. Cette première étape dans la chaîne d'acquisition de données représente un passage dense d'implications. Le plus simple des gestes exprime déjà une panoplie très riche de grandeurs physiques liées à la qualité du mouvement. Avant même toute opération de codage, la captation pose pourtant deux problématiques cruciales. D'une part, le choix des structures anatomiques et motrices (bras, jambes, contraction globale du corps, gestes spécifiques etc.) et des régions de l'espace que nous souhaitons analyser détermine une première topologie de l'environnement interactif. De l'autre, le fait de se concentrer sur un certain aspect du mouvement (l'accélération, la direction, l'orientation, etc.) ou sur une certaine propriété physique de l'espace implique une hiérarchisation qualitative du mouvement. Les processus d'*intensification* et d'*extension* dont nous avons parlé s'articulent tout d'abord à partir de ces deux problématiques. Le fait par exemple de connecter une certaine bande sonore à la variation de l'accélération du bras droit d'un danseur implique une valorisation intensive et extensive d'une certaine partie du corps et d'une qualité spécifique du mouvement qui ont pour effet de déstabiliser l'organisation interne de l'anatomie du *performeur*.

---

[260] Il convient de noter que, dans le cadre de l'interaction geste-son, le terme mapping indique au sens strict le processus de mise en connexion entre des paramètres gestuels et des paramètres sonores. Toutefois, de plus en plus, on emploie ce terme pour définir également les processus de codage du paramètre gestuel. Cela s'explique par le fait que l'analyse de données et la création de descripteurs de mouvements sont souvent liés au processus de définition des paramètres d'interaction sonore. Par conséquent dans ce chapitre je présenterai le mapping comme un processus impliquant toutes les phases du design de l'interaction.

[261] Je rappelle que la définition de *CsO* de Deleuze et Guattari renvoie à une idée de corps comme accumulation dynamique et instables de strates signifiantes qui, de manière passagère, peuvent se coaguler sous forme d'organisme. Cf. Gilles DELEUZE et Felix GUATTARI, *Mille plateaux*, *op. cit.*, p. 9-37.

Le choix du système de captation implique en outre la modalité spécifique avec laquelle nous souhaitons formaliser un certain mouvement. En effet, nous ne somme pas souvent intéressés par une reproduction fidèle du mouvement. L'exactitude de la captation peut ne pas coïncider avec l'intelligibilité de l'interaction. En général il s'agit plutôt de trouver une manière satisfaisante de "reconstruire" le mouvement. Un certain geste, par exemple, peut être représenté à partir d'un ensemble de données d'origine différentes. Imaginons vouloir détecter le mouvement longitudinal de la colonne vertébrale : nous avons au moins deux modalités complètement différentes pour accomplir cette tâche. Nous pouvons extraire cette information à travers un système de caméras permettant de capter les coordonnées du squelette selon trois axes. Avec ce système le mouvement de la colonne sera probablement construit à partir du calcul de la distance relative du corps par rapport à la source de captation ainsi que de la variation de la distance entre les différentes articulations du squelette. Une méthode alternative serait d'utiliser des capteurs de position embarqués directement sur le corps ou sur le costume du *performeur*. Une autre possibilité serait d'employer des capteurs de flexion distribués tout au long de la colonne vertébrale[262]. Dans le premier cas nous calculerons la variation de la distance entre les capteurs de position embarqués. Dans le deuxième le changement de résistance interne du capteur. Dans les trois méthodes présentées nous aurons trois typologies de données différentes. Cela affectera évidement la qualité de la représentation numérique du mouvement. Avec les caméras nous aurions une représentation probablement moins précise mais assez riche en termes d'informations. Dans le cas des capteurs embarqués, nous aurions une précision de captation remarquable, mais une disponibilité de données inférieure. En outre, dans le premier cas nous sommes en train d'utiliser un système léger et ergonomique, dans le deuxième, les dispositifs utilisées peuvent s'avérer parfois trop invasifs. Il s'agit alors d'établir un compromis nécessaire entre précision, rapidité de traitement de données et enjeux expressifs.

Le choix des systèmes de captation n'est pas pourtant une opération neutre. Dans le contexte artistique

---

[262] Voir par exemple l'interface développé par le laboratoire *IDMIL* de l'Université McGill (Montréal, Canada) : cf. Ian HATTWICK, Joseph MALLOCH et Marcelo M. WANDERLEY, "Forming Shapes to Bodies : Design for Manufacturing in the Prosthetic Instruments" in *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME2014)*, London, UK, 2014, p. 443-448.

cela correspond déjà à une volonté expressive[263]. Du point de vue qualitatif, deux taxonomies différentes peuvent être proposées. La première se base sur la modalité d'acquisition de données et sur la localisation du capteur par rapport à l'*interacteur*. Selon ces paramètres les systèmes de captation peuvent être divisés en *captation optique*, *capteurs embarqués* et *semi-embarqués*, *capteurs environnementaux*. Une taxonomie similaire est celle proposée par Alex Mulder qui, par contre, divise les systèmes en *inside-in*, *inside-out* et *outside-in*[264]. Une deuxième classification peut être faite en considérant la qualité spécifique de l'information détectée ainsi que les composants techniques des capteurs. Dans ce cas on peut diviser les capteurs en *capteurs de mouvement*, *capteurs physiologiques,* etc[265]. Une telle taxonomie est élaborée par exemple au sein du projet SensorWiki.org créé par Marcelo Wanderley en 2004[266]. Ce que je vais présenter c'est une taxonomie mixte qui tient compte tantôt de la classification par typologie d'acquisition tantôt de la classification par qualité de l'information captée. Les raisons de ce choix résident principalement dans la nécessité de présenter les systèmes exploitant des caméras de manière autonome par rapport aux autres outils de détection ainsi que dans la volonté de valoriser les capteurs physiologiques comme catégorie spéciale se basant sur des principes de captation originaux. D'autres taxonomies possibles regardent l'utilisation spécifique dans le contexte artistique. Parmi celle-ci, je citerai la classification proposée par Frédéric Bevilacqua qui suggère la possibilité de diviser les capteurs selon trois paradigmes principaux : le

---

[263] Comme il a été récemment remarqué par plusieurs chercheurs, la "captation du mouvement" n'indique pas simplement un ensemble d'outils technologiques mais il est désormais utilisée pour dénoter un langage du mouvement médialisé, c'est-à-dire une conceptualisation du corps en termes de descripteurs de mouvement et de fonctions computationnelles. Voir, à ce propos, Salazar SUTIL, *Motion and representation: the language of human movement*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2015.

[264] Alex MULDER, "Human movement tracking technology" in *Hand Centered Studies of Human Movement*, Vancouver, Simon Fraser University, 1994, http://www.xspasm.com/x/sfu/vmi/HMTT.pub.pdf Consulté le 19/08/2017.

[265] Voir par exemple Jacob FRADEN, *Handbook of modern sensors : physics, designs, and applications* [1996], New York, Springer-Verlag, 2004. Pour une description détaillée des différentes typologies de capteurs utilisés dans le contexte musical je renvoie à Carolina B. MEDEIROS et Marcelo M. WANDERLEY, "A Comprehensive Review of Sensors and Instrumentation Methods in Devices for Musical Expression" in *Sensors*, 14(8), 2014, p. 13556-13591.

[266] http://www.sensorwiki.org/doku.php Consulté le 19/08/2017.

corps, l'espace et le temps[267].

4.2.1 Captation optique et motion tracking

La captation optique représente le système de détection du mouvement le plus répandu au sein des arts numériques. Utilisé principalement dans les installations interactives et sur scène (danse, théâtre, etc.), il est parfois employé dans le domaine de la performance musicale, notamment dans le contexte analytique. La captation optique consiste à utiliser une ou plusieurs caméras afin de détecter le mouvement du *performeur* pour en extraire une représentation bidimensionnelle ou tridimensionnelle à l'intérieur de l'espace cartésien. Souvent la captation optique est associée au *motion capture* (*MoCap*). Le terme regroupe un ensemble de techniques basées sur l'utilisation d'un système de caméras (souvent des caméras thermiques infrarouges) et des marqueurs, à savoir des petites sphères lumineuses ou des morceaux de tissu réfléchissant. L'utilisation de marqueurs facilite la représentation du corps (ou d'une de ses parties) qui est ainsi reconstruit à partir de ces points lumineux. Souvent ils sont placés à proximité des articulations de manière à pouvoir calculer la longueur d'un segment (par exemple un avant-bras) à partir de la distance entre deux marqueurs. Quand la captation implique également l'analyse des éléments plus subtils comme le mouvement des doigts des mains ou les expressions faciales, on parle plutôt de *performance capture*. Le *MoCap* est actuellement utilisé dans des contextes assez divers liés à l'étude, à l'analyse et à la représentation du mouvement : du cinéma 3D aux jeux vidéos, du domaine médical aux sciences du sport, des usages militaires au spectacle vivant[268].

Dans le contexte de la performance artistique, la captation optique est souvent associée à des

---

[267] Frédéric BEVILACQUA, Norbert SCHNELL et Sarah ALAOUI, "Gesture capture : paradigms in interactive music/dance systems" in Gabriele KLEIN et Sandra NOETH (dir.), *Emerging Bodies. The Performance of Worldmaking in Dance and Choreography*, transcript Verlag, Bielefeld (Germany), 2011, p. 183–193.

[268] Pour une introduction détaillée des différents usages des techniques de *motion capture* je renvoie à Matt DELBRIDGE, *Motion Capture in Performance. An Introduction*, Basingstoke (UK), Palgrave MacMillan, 2015.

techniques, dites de *motion tracking*[269], basées sur "l'extraction du fond". Celles-ci permettent de différencier la figure du *performeur* ou de l'*interacteur* du reste de la scène. Diverses méthodes peuvent être utilisées à ce but. Une première méthode consiste à garder en mémoire, dans le logiciel d'analyse, une image correspondant au fond que l'on soustrait ensuite systématiquement à toutes les images lors de la captation. Dans ce cas on parle de "soustraction de fond". Une deuxième possibilité est d'utiliser des systèmes de seuils correspondants à des valeurs de nuances au-dessus des lesquelles toutes les nuances sont converties en blanc et en dessous des lesquelles toutes les nuances sont converties en noir. Cela impose de maximiser, en termes de lumière, le contraste entre le *performeur* à extraire et le fond. Une autre option repose sur la substruction automatisée entre l'image actuelle et les images précédentes. Toutes ces techniques ont l'inconvénient d'être sensibles aux variations de lumière. Pourtant on préfère, selon les contextes, l'utilisation des caméras thermiques qui appliquent des principes similaires aux sources de chaleur (notamment le corps humain). Dans les dernières années on a constaté le succès remarquable de dispositifs grand public comme la caméra Microsoft Kinect. Cette caméra thermique, conçue dans le cadre des jeux vidéo, a connu une diffusion importante tant dans le domaine artistique que dans le domaine de la recherche scientifique (notamment dans l'étude du mouvement et dans les pratiques thérapeutiques)[270]. Ce succès est dû à la nature ergonomique du dispositif, le coût assez accessible par rapport à d'autres systèmes

---

[269] Parfois on utilise les expressions *motion capture* et *motion tracking* pour désigner deux modalités différentes de captation. Dans ce cas, le *motion capture* caractérise, plus précisément, la captation du mouvement en temps différé (« non-real time data collection ») permettant une représentation très articulée du corps du *performeur*. Cela est utile comme source pour l'analyse ou l'animation 3D (voir par exemple le cas de *Biped* de Merce Cunningham dont nous avons parlé). Le *motion tracking* représente la captation et la transmission en temps réel de données concernants le mouvement (« real time data stream »). Cela permet de créer des processus interactifs pour contrôler des dispositifs en temps réel : voir parmi d'autres les créations de Troika Ranch et Palindrome Intermedia Group, à lesquelles nous avons déjà fait référence et sur lesquelles nous reviendrons dans les prochaines pages (voir en particulier *infra*, p. 198-202.)

[270] Min-Joon YOO, Jin-Wook BEAK et In-Kwon LEE, "Creating Musical Expression using Kinect" in *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME '11)*, Oslo, Norway, 2011, p. 324-325.

professionnels, et surtout aux avantages en termes d'*usabilité*[271].

Après avoir extrait une représentation du corps dans l'espace, ces informations sont soumises à différentes techniques d'analyse ayant pour but la création de descripteurs de mouvement pertinents. Ces techniques permettent d'obtenir des valeurs de haut niveau, comme par exemple la division du corps en segments, qui seront à la base de la sémantique du système interactif. Cette phase constitue une partie cruciale de l'ensemble du processus de codage de l'information. Une technique assez répandue consiste à créer un contour du corps à partir de la silhouette extraite. Cela permet de produire des descripteurs très utiles dans le contexte de la performance. Le contour peut être produit en créant des formes géométriques sur la base de certaines informations remarquables. Dans le cas, par exemple, du système *EyesWeb*[272] une fonction permet de construire une ellipse à partir de la position du barycentre. L'orientation du grand axe de l'ellipse permet de déduire l'orientation générale du corps tandis que l'excentricité de l'ellipse permet de mesurer le degré de contraction/expansion du corps dans la kinesphère. Le même indice de contraction du corps peut être produit, alternativement, en calculant la variation de largeur du périmètre externe englobant la corps. Ce périmètre se base normalement sur la position de cinq barycentres périphériques du corps humain: la tête, les mains et les pieds. Une autre fonction très utilisée permet la création d'un "squelette" stylisé représentant le corps. Cette procédure se base sur la localisation des articulations et peut être supportée par l'utilisation de marqueurs qui permettent de fixer des nœuds à partir desquels on divise le corps en segments (tête, épaules, coudes, avant-bras, mains, genoux, pieds, et centre de gravité, etc.). La distance de chaque segment par rapport à la source de captation peut être utilisée pour fournir des informations en trois dimensions sur le déplacement des différentes parties du corps[273]. À partir de ces

---

[271] Le terme "*usabilité*" est un néologisme qui vient du terme anglais *usability*. Il est employé, principalement dans le contexte informatique, pour désigner le degré de facilité d'usage et d'efficacité dans l'interaction homme-machine. Il constitue un des critères principaux qui sont tenus en compte par le designer d'interfaces numériques dans la phase de conception du dispositif. Cf. Jonathan GRUDIN, "Utility and usability: Research issues and development contexts", in *Interacting with Computers*, 4(2), Elsevier Science B.V., 1992, p. 209-217.

[272] Cf. Antonio CAMURRI et al. "EyesWeb - Toward gesture and affect recognition in dance/music interactive systems" in *Computer Music Journal*, 24(1), MIT Press, 2000, p. 57-69.

[273] Cf. Lorna HERDA et al., "Using skeleton-based tracking to increase the reliability of optical motion capture" in *Human Movement Science*, 20(3), Elsevier, 2001, p. 313-341

opérations de base (division du corps en segments, création du périmètre du corps), un très grand nombre de descripteurs de haut niveau peut être élaboré.

À partir de la moitié des années 1990, beaucoup de systèmes de *motion tracking* ont été développés spécifiquement pour le spectacle vivant et l'interaction avec la musique[274]. Parmi ceux-ci, il faut au moins citer le *BigEye* (1995-2001) développé par Tom Demeyer dans les studios du STEIM (Amsterdam). *BigEye* a été sans doute l'un des premiers logiciels permettant de convertir des informations issue d'une captation optique en données MIDI. La particularité du programme était d'extraire des objets dignes d'intérêt à partir de l'analyse vidéo. La position des objets est vérifiée par rapport à des régions de l'espace configurées par l'utilisateur. Des messages MIDI sont déclenchés lorsqu'un objet reconnu entre ou sort de la zone préétablie[275]. Un autre logiciel remarquable est *EyesWeb*, auquel j'ai déjà fait référence. Le système, développé par l'équipe de Antonio Camurri à l'Université de Gênes (Infomus Lab) à la fin des années 1990[276], se présente sous forme d'un environnement de programmation visuelle dans lequel on relie entre elles des boîtes correspondant chacune à des fonctions spécifiques. Il se caractérise par l'utilisation des descripteurs de mouvement très sophistiqués ainsi que par l'exploitation d'une libraire très riche comprenant différents outils d'analyse. *EyesWeb* a aussi la particularité d'être un outil efficace tantôt dans le contexte de l'analyse du mouvement tantôt dans le contexte de la performance (danse et musique, surtout). À ce propos d'autres logiciels de mapping et de traitement audiovisuel ont été développés en exploitant les

---

[274] Il faut néanmoins signaler que le premier système de motion tracking pour l'interaction en temps réel avec la musique est probablement *Very Nervous System* de David Rockeby, développé déjà dans les années 1980. On en parlera dans le prochain chapitre : cf. *infra*, p. 205-206.

[275] Cf. Wayne SIEGEL et Jens JACOBSEN, "The challenges of interactive dance: an overview and case study" in *Computer Music Journal*, 22(4), MIT Press, 1998, p. 29-43.

[276] http://www.infomus.org/eyesweb_ita.php Consulté le 11/07/2017.

fonctions de base de *EyesWeb*. Parmi ceux-ci *Isadora* de Mark Coniglio[277]. Un autre logiciel très remarquable au sein de la scène numérique est *Eyecon*. Le logiciel, développé vers la moitié des années 1990 par Frieder Weiss en collaboration avec Robert Wechsler, se base sur l'exploitation d'un système intégrant les fonctions de *motion tracking* ainsi que la génération et le traitement du son en temps réel grâce à l'utilisation de MaxMsp[278].

4.2.2 Capteurs de mouvement embarqués et semi-embarqués

La captation optique présente l'avantage d'exploiter des outils non-invasifs, tels quels sont les caméras couleurs ou thermiques. Le choix d'une typologie de caméra plutôt qu'une autre change sensiblement la qualité de l'information captée en affectant pourtant le système de représentation du mouvement. En ce sens le choix de capteurs est largement déterminé par le contexte d'application. Encore une fois il s'agit d'un enjeu expressif avant même que technique. La captation optique permet, en outre, de disposer d'une grande masse de données concernant le mouvement formalisé selon l'espace cartésien. Néanmoins cette modalité de captation présente certaines limites, surtout dans le cas du traitement de données en temps réel. Tout d'abord les systèmes pour le spectacle vivant, ne pouvant pas exploiter les mêmes moyens qu'un studio consacré au *motion capture* (un grand nombre de caméras, marqueurs sur le corps du *performeur*, puissance de calcul, etc.), ne sont pas souvent capable d'offrir des mesures extrêmement précises. À ce propos, on préfère parfois l'utilisation de capteurs de mouvement spécialisés. Ceux-ci présentent l'avantage d'être accessibles à un coût réduit et d'offrir des précisions de captation remarquables. De plus, ils

---

[277] Dans diverses créations de la compagnie Troika Ranch, et notamment dans la pièce *16 [R]evolutions* (2006), Mark Coniglio emploie un système interactif qui est le résultat de l'utilisation conjointe de *EyesWeb* (comme système de motion tracking) et de *Isadora* (comme système de mapping et de génération audiovisuelle en temps réel). Cf. Mark CONIGLIO, "Materials vs content in digitally mediated performance" in Susan BROADHURST et Josephine MACHON, *Performance and technology. Practices of virtual embodiment and interactivity*, *op. cit.*, p. 78-84.

[278] Cf. Steve DIXON, *op. cit.*, p. 201-203. Voir aussi Robert WECHSLER, Frederich WEISS et Peter DOWLING, "EyeCon: a motion sensing tool for creating interactive dance, music and video projections" in *Proceedings of the Society for the Study of Artificial Intelligence and the Simulation of Behavior (SSAISB)'s convention: Motion, Emotion and Cognition*, Leeds, UK, 2004. URL : http://www.palindrome.de/content/pubs/leeds.pdf. Consulté le 19/08/2017

permettent de détecter des aspects très fins du mouvement comme l'accélération, la direction ou l'orientation. Néanmoins ils présentent deux limites importantes : d'une part, ils doivent être appliqués directement sur le corps du *performeur* (ce qui peut être, parfois, trop envahissant), de l'autre, chaque capteur n'offre qu'un nombre assez limité d'informations (normalement entre 1 et 3). Il faut donc se doter d'un système complexe de capteurs pour pouvoir disposer d'une représentation riche du mouvement. Je vais maintenant en présenter les typologies principales utilisées dans le contexte artistique.

Accéléromètres

Les accéléromètres sont probablement les capteurs les plus utilisés dans le domaine de la performance. Comme leur nom l'indique, ils permettent de mesurer l'accélération d'un signal, mais également la décélération et l'inclinaison. Selon les modèles ils sont sensibles de un à trois axes (x,y,z). Il ne faut pas confondre cette mesure d'accélération avec une mesure de vitesse : lorsque le capteur est soumis à une vitesse constante, il n'envoie pas de variation de signal. Dans le contexte de la performance ils sont souvent appliqués aux poignets ou aux chevilles de manière à capter l'axe de rotation du mouvement ainsi que la puissance globale du geste. En ce sens ils peuvent servir tantôt pour mesurer l'inclinaison du geste tantôt pour détecter un "choc" produit par un mouvement accéléré ou par des gestes "percussifs"[279]. Beaucoup des dispositifs grand public, comme le I-Pad, les smartphones ou les Wiimote, intègrent ce genre de capteur. Ces dispositifs peuvent être re-programmés, et "détournés", pour ensuite être employés dans le contexte artistique[280].

Boussoles

Les boussoles utilisent le champ magnétique terrestre pour donner des informations sur l'orientation

---

[279] Voir par exemple l'utilisation des accéléromètres dans la pièce récente de Georges Aperghis *Luna Park* (2011) : cf. Jean-François TRUBERT et Grégory BELLER, "Luna Park (2011) : An Aesthetics of Shock" in *Contemporary Music Review*, 35(4–5), 2016, p. 500–534.

[280] Cf., parmi d'autres, Lijuan PENG et David GERHARD, "A Wii-based gestural interface for computer conducting systems" in *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME '09)*, Pittsburgh (Pennsylvania), USA, 2009, p. 158-159.

d'un objet ou d'une personne. Pourtant ils peuvent être utilisés comme inclinomètres. À la différence des accéléromètres, dont les valeurs d'inclinaison sont relatives à l'accélération sur les trois axes, les boussoles produisent des valeurs d'inclinaison par rapport à la direction du champ magnétique. Du point de vue de la pratique, la qualité de l'information produite est susceptible de varier selon l'espace et les lieux d'installation (par exemple la présence d'éléments métalliques en scène ou dans la structure du spectacle ou du musée peut affecter remarquablement le comportement du capteur).

Gyromètres et Gyroscopes

Un autre capteur permettant de calculer l'inclinaison du geste dans une situation de spectacle est le gyroscope. Ceci permet de mesurer directement la position angulaire du mouvement sur les trois axes. Il est souvent associé à un gyromètre. Ce dernier ajoute la mesure de la vélocité angulaire. Tout comme l'accéléromètre, il s'agit d'un capteur dynamique : lorsque le capteur (ou la personne sur laquelle le capteur est fixé) est immobile, la valeur envoyée est la valeur de base correspondant au milieu de la gamme des valeurs possibles. Il faut noter que de nombreux systèmes interactifs pour la performance exploitent conjointement accéléromètres et gyroscopes (et/ou gyromètres) afin d'obtenir une représentation plus complète du geste[281]. Souvent on utilise des dispositifs appelés *IMU* (*Inertial Measurement Unit*) contenant accéléromètre, gyroscope et parfois un magnétomètre[282].

Capteurs de flexion

Les capteurs présentés jusqu'ici (accéléromètre, boussole, gyroscope et gyromètre) sont employés principalement pour détecter des qualités du mouvement liées aux périphéries du corps (notamment les mains, les poignets, les chevilles ou les pieds). D'autres capteurs permettent, au contraire, d'extraire

---

[281] Voir, par exemple, le système *Gesture Follower* développé à l'IRCAM par l'équipe de Frédéric Bevilacqua. Il s'agit d'une application pour la reconnaissance et la poursuite du geste exploitant un module de transmission Xbee composé par un accéléromètre tridimensionnel et un gyroscope : Frédéric BEVILACQUA et al., "Wireless sensor interface and gesture-follower for music pedagogy" in *Proceedings of the International Conference on New interfaces for Musical Expression (NIME '07)*, New York, USA, 2007, p. 124-129. On reviendra sur le *Gesture Follower* dans les prochaines pages.

[282] Pour plus d'informations, je renvoie au dernière chapitre. Cf. *infra*, p. 362 note n. 655.

certaines informations concernant plutôt les articulations du corps. Les capteurs de flexion en sont un exemple. Ceux-ci prennent souvent la forme d'une bande plastifiée très flexible. Ils envoient une seule valeur continue correspondant à la variation de la courbure de la bande. Dans le contexte performatif ils sont souvent fixés à l'extérieur du coude ou du genou de manière à capter la flexion absolue de l'articulation. Un exemple assez connu est le système *MIDIDancer*, développé par Mark Coniglio au sein de la Compagnie Troika Ranch. Le *MIDIDancer* était un système composé par une série de capteurs de flexion appliqués aux articulations du corps du danseur. Le système intégrait une unité interne d'élaboration des données permettant d'envoyer des notes et des valeurs directement en format MIDI afin de contrôler des synthétiseurs et des lumières externes[283].

Capteurs de contact

À côté des dispositifs qui détectent les qualités spécifiques du mouvement, et notamment du geste, il y a certains capteurs qui réagissent au contact. Parmi ceux-ci on trouve les *capteurs de pression*. Il s'agit de capteurs relevant la pression exercée sur une surface par le biais de la détection d'une variation de résistance. Ils expriment pourtant une valeur continue. Néanmoins ils peuvent être utilisés comme déclencheurs d'événements (sons, lumières, etc.) à travers l'emploi de systèmes de seuils. Ils peuvent être installés directement sur la surface d'une interface musicale ou sur le costume d'un danseur. D'autre part, ils peuvent être placés à l'intérieur d'une estrade ou sur scène. Dans ce cas ils peuvent servir de détecteur de posture. Les *ribbons* sont des capteurs ayant la forme d'un ruban souple. Ils fonctionnent comme des potentiomètres traditionnels exprimant une variation continue de valeurs. Comme les capteurs de pression, les *ribbons* sont actionnés par le contact du corps activant une variation de résistance (normalement les mains ou les doigts). Ils ont la particularité de détecter la position du doigt par rapport aux deux extrémités du ruban. Eux aussi peuvent être utilisés comme déclencheurs. La dernière typologie de capteur par contact regroupe les boutons et les interrupteurs. Il s'agit de surfaces conductrices, fils, interrupteurs à deux positions, boutons-poussoirs, etc. permettant d'envoyer des signaux binaires (on/off). Tout comme les autres

[283] Cf. Mark CONIGLIO, "Materials vs content in digitally mediated performance", *op. cit.*. Cf. également Steve DIXON, *op. cit.*, p. 197-199 et Chris SALTER, *op. cit.*, p. 268-269.

capteurs par contacts, ils peuvent être dissimulés dans les vêtements ou sur scène. Ils sont également présents, sous différentes formes, dans les interfaces MIDI grand public à coté des potentiomètres et des autres contrôles conventionnels.

4.2.3 Capteurs environnementaux

Cette typologie de capteurs comprend de nombreux systèmes de détection exprimant la relation entre mouvement et espace. Ceux-ci peuvent être considérés comme un compromis entre les systèmes de captation optique et les capteurs embarqués. Tout comme les premiers, ils détectent la position du corps dans l'environnement. De façon similaire aux capteurs de mouvement ils sont consacrés à une tâche spécifique. Normalement ils expriment une valeur continue qui varie selon la distance du corps à la source de captation. Les capteurs plus sophistiqués peuvent également détecter les coordonnées tridimensionnelles à travers un système de radio-transmission émetteur/récepteur (comme dans le cas des sonars). Dans ce cas les capteurs environnementaux sont souvent employés conjointement à des capteurs de mouvement[284]. La bi-dimensionalité de l'espace peut également être reconstruite en employant au moins deux capteurs (par exemples deux *proximètres*) placés en position perpendiculaire. Des capteurs moins élaborés, à l'instar des photo-résistances ou des capteurs capacitifs, peuvent en outre servir d'interrupteurs placé dans les espaces scénique ou dans les installations (galeries, musées, etc.)[285]. Etant donnée la nature environnementale de ces capteurs, ils sont souvent utilisés dans les installations interactives parfois conjointement aux systèmes de captation optique. Ceux-ci permettent en effet de déterritorialiser l'interaction du corps à l'espace en stimulant la participation active du public. Je vais en présenter les typologies les plus utilisées dans le contexte artistique.

---

[284] Voir à ce propos le système de captation mixte réalisé au sein du célèbre projet "Expressive footwear" développé entre la fin des années 1990 et les années 2000 au MIT Media Lab : Joseph A. PARADISO et al., "Designing for expressive footwear" in *IBM Systems Journal*, 39(3/4), 2000, p. 1-19.

[285] Cf. Joseph A. PARADISO et al., "The magic carpet : physical sensing for immersive environments" in *Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI97)*, Atlanta (Georgia), USA, 1997. Voir également Ravi KONDAPALLI et Ben-Zehn SUNG, "Daft-Datum - An interface for producing music through foot-based interaction" in *Proceedings of the International Conference on New interfaces for Musical Expression (NIME '11)*, Oslo, Norway.

Capteurs magnétiques

Différents systèmes de captation sont basés sur la mise en présence d'un capteur magnétique et d'un champ magnétique local créé pour ce capteur. Le capteur magnétique est alors généralement placé sur le *performeur* ou sur le spectateur qui entre dans l'installation dont les mouvements dans l'espace sont ainsi détectés. Un exemple particulièrement répandu est le "capteur à effet Hall". De nombreux modèles d'ordinateurs portables, certains smartphones et certaines tablettes numériques possèdent un capteur à effet Hall pour détecter la fermeture du couvercle ou d'une housse à clapet. Tout comme les autres capteurs magnétiques, ce capteur varie sa tension de sortie en réponse à un champ magnétique. Contrairement à d'autres dispositifs de détection magnétique, les capteurs à effet hall peuvent être utilisés pour des mesures assez différentes comme la commutation de proximité, le positionnement, la détection de la vitesse, et les applications de détection de courant.

Capteurs de proximité

Différents capteurs peuvent être utilisés afin de détecter la variation de la distance entre le *performeur* ou l'*interacteur* et la source de captation. Généralement, il s'agit de capteurs sans contact qui mesurent la distance, suivant un axe, entre le capteur et le premier obstacle rencontré. Selon le principe de fonctionnement, ils ont une portée de quelques centimètres à quelques mètres. Parfois ils peuvent être également qualifiés de détecteurs de mouvement [*motion detectors*][286]. Parmi ceux-ci il faut au moins citer les *capteurs à microondes*, à *infrarouges* et à *ultrasons*. Les premiers sont des dispositifs qui détectent le mouvement grâce à un principe similaire à celui du radar. Tout d'abord, une radiation à micro-ondes est émise. Le changement de phase produit par le mouvement d'un objet ou d'une personne est enregistrée sous forme d'une variation d'oscillation dans les basses fréquences. Les capteurs à infrarouges sont des dispositifs capables de détecter les radiations au-dessous de la plage de fréquence du visible. Ils se divisent en deux typologies : capteurs thermiques (qui réagissent à la chaleur) ou photoniques (qui réagissent à la lumière). Les premiers sont normalement utilisés pour détecter des distances plus grandes tandis que les

[286] Cf. Jacob FRADEN, *op. cit.*, p. 227-252.

seconds sont employés pour capter l'espace proche. Les capteurs thermiques, les plus diffusés, sont des capteurs passifs (c'est-à-dire qui n'émettent pas d'énergie) sensibles aux radiations de chaleur émises par la peau. Le capteur enregistre donc une variation linéaire lorsqu'une partie du corps traverse l'axe de captation. Le fonctionnement des capteurs d'ultrasons est tout à fait similaire aux capteurs de micro-ondes : le capteur émet une fréquence inaudible par l'oreille humaine, le son se propage, rencontre un obstacle, rebondit et repart vers le télémètre qui détecte ce retour. Toutefois, à l'inverse des capteurs de micro-ondes, les capteurs d'ultrasons exploitent la différence de vitesse produite par un corps en mouvement dans l'air (cette différence est calculée de manière similaire à celle qui s'applique à l'*effet doppler*). Parmi les interfaces grand public exploitant le principe de proximité il faut citer le *Leap Motion*, dispositif hybride basé sur la captation optique dédié à la détection des mains et des doigts mais qui fonctionne également comme excellent capteur de proximité[287].

Tapis et plaques sensitifs

D'autres interfaces commerciales ou auto-construites exploitent l'utilisation de capteurs par contact et/ou environnementaux afin de créer des surfaces sensitives. Parmi ceux-ci il faut citer les plaques équipées avec des capteurs *FSR* (*Force-Sensitive Resistor*), c'est-à-dire des capteurs qui varient leur résistance sur la base de la pression exercée. Ces plaques peuvent être utilisées pour détecteur la posture (la soustraction des réponses des différentes capteurs donne une information sur la répartition de poids d'une jambe à une autre). Différentes versions grand public (Nintendo Wii Board)[288] ou pour spécialistes (Interface-Z)[289] ont été créées dans les dernières années. Dans certains cas on parle également des "tapis sensitifs" : de larges surfaces qui peuvent être équipées par différentes capteurs comme des capteurs de pression, pour mesurer

[287] Le *Leap Motion* exploite deux micro-caméras et trois capteurs LED infrarouges pour reconstruire la position des mains dans l'espace avec une précision de 0,01 mm : https://www.leapmotion.com/#102

[288] http://wiifit.com/

[289] http://www.interface-z.fr/pronfiture/tapis-sensitif-64-zones/14-tapis-sensitif-64-zones-carte-principale.html

la variation d'appui, ou des composants piézoélectriques, pour détecter les chocs et les vibrations proches[290].

4.2.4 Capteurs physiologiques

Cette catégorie comprend des typologies assez particulières de capteurs embarqués dédiés à la détection des bio-signaux. Il en existe de nombreux types, par exemple les capteurs myoélectriques, les capteurs de rythme cardiaque, les électrodes d'encéphalogramme. Il s'agit généralement de capteurs biomédicaux ou sportifs détournés pour être utilisés dans le contexte artistique. Le premier à en faire usage a été probablement Alvin Lucier, compositeur américain de musique expérimentale. Dans *Music For Solo Performer* (1965) il employait des électrodes pour enregistrer des ondes alpha et contrôler ainsi des événements musicaux[291]. Récemment d'autres expérimentations artistiques avec les *bio-feedbacks* ont été conduites en exploitant les possibilités offertes par le *medium* numérique. Parmi celle-ci il faut citer *Carne* (1991) de Miguel Ortiz, pièce électroacoustique pour violoncelle et capteurs EMG, le *Biomuse* (1992) de Atau Tanaka, instrument également basé sur les signaux myoélectriques ainsi que sur d'autres impulsions physiologiques[292], *World Membrane and Dismembered Body* (1997) de Seiko Mikami, installation dans laquelle les signaux du rythme cardiaque sont captés et sonorisés, *Music for Flesh II* (2012) de Marco Donnarumma basé sur la captation en temps réel de la contraction musculaire, *[radical] signs of life* (2013)

---

[290] Dans ce contexte un projet très innovant a été celui développé entre la fin des années 1990 et les début des années 2000 par l'équipe dirigé par Joe Paradiso au sein du MIT Media Lab. Cf. Joseph A. PARADISO et al., "New sensor and music systems for large interactive surfaces" in *Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC00)*, 2000, p. 277-280.

[291] Dans cette composition, les électrodes d'un électroencéphalogramme sont connectés au crâne de l'artiste-interprète afin de détecter des "pics" (c'est-à-dire des variations remarquables) d'ondes alpha générées au moment où le compositeur atteint un certain état mental de méditation. Ces ondes cérébrales sont amplifiées, et le signal électrique résultant est utilisé pour faire résonner des instruments de percussion réparties tout au long de l'espace d'exécution. Cf. Larry AUSTIN, Nilendra GURUSINGHE et Douglas KAHN, *Source : music of the avant-garde, 1966–1973*, Los Angeles, University of California Press, 2011, p. 79-80. Sur le même sujet voir également "Alvin Lucier : Brainwaves" in Douglas KAHN, *Earth sound Earth signal. Energies and Earth magnitude in the arts*, *op. cit.*, p. 83-92.

[292] Je reviendrai de manière plus approfondie sur la recherche de Atau Tanaka et sur le *Biomuse*. Cf. *infra*, p. 178-180 et p. 202-204.

de Heidi J. Boisvert, qui exploite la détection du flux sanguin pour générer du son.[293]

En général ces capteurs permettent d'accéder à un niveau essentiellement interne de la corporéité. La sonorisation des bio-signaux permet en effet de rendre audible des qualités subtiles ou invisibles comme l'activité électrique, le pré-mouvement et d'autres aspects liés à la proprioception. Par conséquent, ils présentent une approche plus émotionnelle dans le domaine de la captation de l'information corporelle. Atau Tanaka parle à ce propos d'« interaction viscérale » pour montrer la relation entre intentionnalité, bio-signaux et sonorisation en temps réel[294]. L'inconvénient principal de cette catégorie de capteurs est que leur détournement en art pose des problèmes d'adaptation du matériel en termes d'analyse et d'interprétation des résultats en temps réel. De plus, il s'agit, avec certaines exceptions (comme les réponses musculaires ou galvaniques), de signaux extrêmement compliqués à contrôler dans une situation de performance (pensons aux ondes alphas ou au rythme cardiaque). Néanmoins, un intérêt croissant vers l'utilisation de bio-signaux a permis le développement d'interfaces grand public qui rendent leur utilisation plus accessible[295]. Je vais maintenant présenter les typologies principales de capteurs physiologiques utilisés en art. Ceux-ci comprennent un ensemble assez vaste de capteurs répondant à des fonctions physiologiques variées.

Électrocardiogramme

Le capteur de rythme cardiaque ou électrocardiogramme (*ECG*) utilise des électrodes placées sur le torse, les poignets ou les jambes, pour mesurer l'activité électrique du coeur ainsi que l'*interbeat* (la distance temporelle entre les pics successifs de l'onde cardiaque). L'intervalle *interbeat*, divisé en 60 secondes,

---

[293] Pour une introduction plus approfondie sur différentes pièces de musique exploitant les bio-signaux je renvoie à Marco DONNARUMMA, "Biophysical music: sound and video anthology" in *Computer Music Journal*, 39(4), MIT Press, 2015, p. 132-138.

[294] Cf. Atau TANAKA, "BioMuse to Bondage: corporeal interaction in performance and exhibition" in Maria CHATZICHRISTODOULOU et Rachel ZERIHAN (dir.), *Intimacy : Across Visceral and Digital Performance*, New York, Palgrave Mcmillan, 2012, p. 159-171.

[295] Je fais surtout référence au *MYO Armband*, interface rassemblant à un bracelet qui possède différentes capteurs de mouvement ainsi que des capteurs EMG : https://www.myo.com/. Il faut en outre citer le dispositif *Empatica*, complètement équipé de capteurs physiologiques http://www.empatica.com/. Cf. également Atau TANAKA et Robert Knapp, "Multimodal musical interaction, a decade later" in Alexander R. JENSENIUS et Michael J. LYONS (dir.), *A NIME reader. Fifteen years of New Interfaces for Musical Expression*, Cham (Switzerland), Springer International Publishing, 2017, p. 54-55.

détermine la fréquence cardiaque à un certain moment. Tout comme l'onde sonore, les informations cardiaques peuvent être analysées par des transformations mathématiques comme celles de Fourier (FFT). La FFT divise les données acquises en un spectre de puissance révélant des fréquences constitutives d'une forme d'onde. Dans le contexte de la performance, une utilisation originale du rythme cardiaque a été fait par la chorégraphe Ginette Laurin dans *Onde de Choc* (2010). Dans la pièce les sons produits par le battement cardiaque sont amplifiés et traités de manière électronique en créant une connexion intime entre rythme interne du danseur, rythme du mouvement et design sonore[296].

Électromyogramme

Le terme électromyographie (*EMG*) regroupe un ensemble de techniques permettant l'enregistrement et le codage de l'activité électrique des muscles squelettiques. Ce genre d'analyse permet de détecter la contraction volontaire des muscles. Une différence remarquable entre les EMG et les donnés issues de la captation du mouvement est que les premières sont des signaux qui mesurent l'activité isométrique du corps (tension sans mouvement effectif des membres) tandis que les deuxièmes détectent plutôt l'activité isotonique (mouvement sans tension)[297]. Il faut préciser qu'il ne s'agit pas d'une captation mécanique de la contraction et de la décontraction du muscle mais plutôt des impulsions électriques qu'en sont à la base. En ce sens, l'EMG capte quelque l'information avant l'activité mécanique du muscle. On pourrait dire d'après Tanaka que l'EMG n'a pas à faire avec le mouvement mais plutôt avec « l'intentionnalité du mouvement »[298]. Récemment, ce genre de capteurs a rencontré un intérêt croissant dans le domaine musical grâce aussi au développement considérable en termes de dispositifs hardware et de logiciels de contrôle.

---

[296] Cf. Enrico PITOZZI, "Body Soundscape Perception, Movement, and Audiovisual Developments in Contemporary Dance" in Yael KADURI (dir.), *The Oxford Handbook of Music, Sound and Image in the Fine Arts*, New York, Oxford University Press, 2016, p. 275-277.

[297] Cf. Atau TANAKA et Bejamin KNAPP, "Multimodal Interaction in Music Using the Electromyogram and Relative Position Sensing" in *Proceedings of the International Conference on New interfaces for Musical Expression (NIME '02)*, Dublin, Ireland, 2002, p. 171-176.

[298] Cf. Atau TANAKA, "BioMuse to Bondage : corporeal interaction in performance and exhibition", *op. cit.*

Mécanomyogramme

Le mécanomyogramme (*MMG*) est le signal mécanique observable à partir de la surface d'un muscle lorsque le muscle est contracté. La contraction produit des vibrations acoustiques dues aux oscillations des fibres musculaires qu'on peut mesurer à partir de la fréquence de résonance du muscle. Pour cela le mécanomyogramme est également connu sous le nom phonomyogramme, myogramme acoustique ou vibromyogramme. Généralement on utilise des capteurs capables de détecter des infrasons (0-45 Hz) placés sur le groupe de muscles qu'on souhaite analyser. On voit donc la différence cruciale entre EMG et MMG. L'EMG transmet des informations affectant les motoneurones qui activent le muscle, il nous informent donc de l'intention délibérée d'effectuer un geste[299]. Le MMG, d'autre part, produit des informations sur la contraction mécanique des tissus musculaires, nous informant de l'effort physique qui forme le geste[300]. Le dispositif *Xth Sense* créé par Marco Donnarumma en 2012 se base entièrement sur la captation des signaux MMG et d'autres signaux acoustiques provenants du corps (rythme cardiaque, pression sanguine, etc.)[301].

Capteurs de réponse galvanique

Ce genre de capteur (*GSR*) se base sur la détection de l'activité électro-dermique ou de conductance de la peau, à savoir la capacité du corps humain à produire des variations continues dans les propriétés électriques de la peau. Ces signaux peuvent être mesurés avec de simples électrodes placés sur le bout des doigts. La variation électrique produite par exemple lors du contact entre deux personnes équipées d'électrodes peut être codée sous forme de paramètre de modulation continue ou de déclencheur d'événements (à l'instar d'un interrupteur). Des électrodes étaient utilisées dans les premiers instruments

---

[299] Cf. Dario FARINA et al., "The Extraction of Neural Information from the Surface EMG for the Control of Upper-LimbProstheses: Emerging Avenues and Challenges" in *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering*, 22(4), 2014, p. 797-801.

[300] Cf. Travis W. BECK et al., "Mechanomyographic amplitude and frequency responses during dynamic muscle actions: a comprehensive review" in *Biomedical engineering online*, 4(67), 2005: URL : https://biomedical-engineering-online.biomedcentral.com/articles/10.1186/1475-925X-4-67.

[301] Marco DONNARUMMA, "Incarnated Sound in Music for Flesh II. Defining Gesture in Biologically Informed Musical Performance" in *Leonardo Electronic Almanac*, 8(3), 2012, p. 64–75.

interactifs créés par Michel Waisvisz au sein du STEIM dans les années 1970. Le *CrackleBox* (1974), en particulier, était un instrument en forme de boîte exploitant un système analogique de *circuit bending* équipé avec des électrodes qui permettaient de contrôler des oscillateurs à travers la conductance électrique de la peau[302]. Plus récemment, des systèmes numériques sans fils, ont été utilisés dans le contexte de la danse pour déclencher des événements MIDI à travers le contact physique entre *performeurs*. La pièce *A Human Conversation* (2006) de la compagnie Palindrome de Robert Wechsler en est un bon exemple[303].

Electroencéphalogramme

Un électroencéphalographe (*EEG*) mesure l'activation électrique du cerveau. En particulier il montre l'amplitude de l'activité électrique à chaque site cortical, la puissance relative de diverses formes d'onde sur chaque site et l'activité conjointe des différentes aires (cohérence et symétrie). Dans le domaine médical et des neurosciences celle-ci peut être supportée par l'utilisation d'un *neuroimaging* fonctionnelle, c'est-à-dire des techniques pour mesurer et analyser le métabolisme cérébral à travers une représentation graphique[304]. Il s'agit de signaux complexes (on utilise pour la plupart l'extraction des ondes alpha) permettant des interactions en temps réel très limitées et difficiles à apprécier. Il reste néanmoins une source qui a beaucoup inspiré, même dans les années récentes, différentes créations musicales parmi lesquelles *Eunoia* (2013) de Lisa Park, performance dans laquelle l'artiste met en vibration des boules contenant de l'eau, en créant ainsi une représentation sonore et visuelle des états émotifs[305] ou *Activating Memory* (2014) de Eduardo Reck Miranda, une pièce pour quatuor à cordes et quatre *performeurs* équipés avec des dispositifs

---

[302] Cf. Sher DORUFF, "The Tendency to 'Trans-': The Political aesthetics of the Biogrammatic zone" in Maria CHATZICHRISTODOULOU, Janis JEFFERIES et Rachel ZERIHAN, *Interfaces of Performance*, Farnahm (UK), Ashgate, 2009, p. 138-140.

[303] Cf. http://www.palindrome.de/. Consulté le 10/07/2017. Voir la section consacrée à la pièce.

[304] Febo CINCOTTI et al., "High-resolution EEG techniques for brain–computer interface applications" in *Journal of Neuroscience Methods*, Elsevier, 167(1), 2008, p. 31-42.

[305] http://www.thelisapark.com/eunoia/. Consulté le 10/07/2017.

pour l'analyse de signaux EEG[306] (en 2015 cette pièce a été jouée aussi avec des personnes ayant différents troubles moteurs et neurologiques). Dans les années 1990, des électrodes pour la captation des EEG ont été utilisé aussi par la compagnie Palindrome dans des pièces comme *Elektroden* et *Brainwaves* (1995-1999) afin de contrôler, par le biais des ondes alpha, des événements sonores et visuels[307].

4.3 L'importance du mapping paramétrique dans la création d'interfaces pour l'interaction geste-son

Les différents systèmes de captation permettent d'analyser et d'interpréter diverses caractéristiques du mouvement liées à l'espace, aux gestes et aux états internes du corps. Comme on l'a vu, le choix des capteurs n'est pas simplement un processus technique. Il s'agit d'avantage d'une décision expressive par rapport au type de dialogue que nous souhaitons établir avec l'environnement technologique. Un certain système de captation implique d'ailleurs des stratégies de codage et de design multimédia spécifiques : si la modalité de captation sous-entend une reconfiguration particulière de l'anatomie corporelle selon une topologie computationnelle établie (qualité du mouvement capté, régions du corps actives, etc.), la manière dont on transforme les informations détectées représente la qualité de cette reconfiguration. Une fois les données avoir acquises, il s'agit pourtant d'établir la modalité de *transduction* d'une certaine énergie physique dans une autre énergie sensorielle :

> « Just in the act of standing up, a person effortlessly reveals important details through hundreds of subtle and unconscious adjustments every second. Even though these expressions come and go very quickly, humans have amazing abilities for reading into this body language the interior state of another person. To make the computer a medium for expression, you need to describe the conversation you want to have with (or better yet,

---

[306] Le dispositif, appelé Brain Computer Music Interface (BCMI), a été créé dans les laboratoires du Interdisciplinary Centre for Computer Music Research (ICCMR) de l'Université de Plymouth. Cf. Eduardo R. MIRANDA, "Brain–Computer Music Interfacing: Interdisciplinary Research at the Crossroads of Music, Science and Biomedical Engineering" in Eduardo R. MIRANDA et Julien CASTANET (dir.), *Guide to Brain-Computer Music Interfacing*, London, Springer-Verlag, 2014, p. 1-27.

[307] Cf. Susan BROADHURST, *op. cit.*, p. 110-117.

through) the computer. […] Physical computing[308] is about creating a conversation between the physical world and the virtual world of the computer. The process of *transduction*, or the conversion of one form of energy into another, is what enables this flow. »[309]

L'ensemble des techniques et des règles permettant la mise en relation d'un certain aspect du mouvement (par exemple la flexion d'un bras ou un geste codifié) avec un ou plusieurs médias (par exemple un paramètre sonore ou un processus de génération graphique) est ce qu'on appelle le *mapping*. Comme il a été remarqué par plusieurs chercheurs, le mapping est désormais reconnu comme l'un des aspects cruciaux au sein de la conception des nouvelles interfaces musicales[310]. Chris Salter définit, à juste titre, le mapping comme « le saint graal » du design sonore interactif[311]. Ce n'est pas par hasard si le mapping a été objet récemment d'un intérêt croissant dans le domaine de la recherche musicologique contemporaine[312]. Les différentes approches théoriques adoptées au cours des dernières années ainsi que les connaissances issues de la pratique artistique montrent d'ailleurs que le mapping n'est pas seulement

---

[308] Au sens large du terme, l'expression *physical computing* dénote le design et la réalisation des systèmes interactifs capables de percevoir et de réagir aux stimuli de l'environnement physique. Il se base sur l'utilisation de capteurs et de micro-contrôleurs permettant l'acquisition de données analogiques externes (lumière, pression, mouvement, temperature, etc.) ainsi que le traitement de l'information numérique, à l'instar d'une image, d'un texte ou d'un son. La notion de *physical computing* implique pourtant une relation biunivoque entre environnement physique et environnement numérique. Cette relation se base sur deux aspects majeurs que nous avons déjà discuté : la multimédialité et l'interactivité.

[309] Dan O'Sullivan et Tom Igoe, *Physical Computing Sensing and Controlling the Physical World with Computers*, Boston (Massachusetts), Thomson Course Technology, 2004, p. xix-xx.

[310] Voir, parmi d'autres, Andy Hunt et al., "The importance of Parameter Mapping in Electronic Instrument Design" in *Journal of New Music Research*, 32(4), 2003, p. 88–93.

[311] « Along with sensing-device modalities, the holy grail of HCI approaches to music is mapping », Christopher L. Salter, Marije A.J. Baalman et Daniel Moody-Grigsby, "Between Mapping, Sonification an Composition : Responsive Audio Environments in Live Performance" in Richard Kronland-Martinet, Sølvi Ystad et Kristoffer Jensen, *Computer Music Modeling and Retrieval. Sense of Sounds*, Berlin, Springer-Verlag, 2008, p. 249.

[312] Cf. Marcelo M. Wanderley et Jospeh Malloch, "Editors' Notes" in *Computer Music Journal*, 38(3), MIT Press, 2014, p. 4–5.

un problème d'interface et de contrôle, mais aussi une partie décisive du processus de composition[313].

4.3.1 Architecture, codage et stratégies de mapping

L'ensemble des données enregistrées par les capteurs est généralement envoyé à des environnements de programmation par objets permettant de coder les informations reçues et de contrôler ainsi la génération et le traitement du son en temps réel. L'enjeu principal consiste à définir les « seuils quantitatifs » ou « d'impédance » ainsi que les « seuils qualitatifs » ou « de pertinence » régissant les différents aspects de l'interaction[314]. Grâce à l'utilisation de logiciels comme *PureData* ou *MaxMsp*[315] il est possible d'intervenir sur différents niveaux du traitement de l'information. Comme je le suggérais au début du chapitre, le mapping (au sens large et étendu du terme) se compose en effet de strates. Cela reflète d'ailleurs l'architecture modulaire du *medium* numérique. On peut différencier quatre blocs principaux. 1. La première phase consiste à "normaliser" la résolution de l'information acquise. Il s'agit d'abord de filtrer le bruit contenu dans le signal en entrée : cela permet de stabiliser l'acquisition des données et de réduire les composants chaotiques présentes. Ensuite il faut réaliser ce qu'on appelle le *debugging,* à savoir l'élimination des erreurs contenues dans l'algorithme d'acquisition des informations. 2. Le deuxième bloc correspond au codage au sens strict. Une fois le flux de données stabilisé, il s'agit de créer une

---

[313] Voir parmi d'autres Agostino Di Scipio, "Sound is the interface : from interactive to ecosystemic signal processing" in *Organised Sound*, Cambridge University Press, 8(3), 2003, p. 269-277; Tim Murray-Browne et al., "The Medium is the Message: Composing Instruments and Performing Mappings" in *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME '11)*, Oslo, Norway, 2011, p. 56-59.

[314] Cf. Emanuele Quinz, "Seuil de mutation. Notes sur la notion d'interface", in *Interfaces*, Paris, Anomos, 2003. Je renvoie aussi à Armando Menicacci, "La machine à fabriquer du geste. Codes, langages et perversion" in *Quant à la danse*, Marseille, Images en Manoeuvres, 5, 2007, p. 48-52.

[315] Max est un langage de programmation visuel, connu mondialement, permettant la création d'environnements interactifs pour la musique, la performance et le multimédia avec un point focal particulier sur la générations en temps réel de contenus. Pour une introduction historique au logiciel ainsi qu'à la notion de design sonore interactif, je renvoie à l'ouvrage classique de Todd Winkler, *Composing interactive music. Techniques and ideas using Max*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 1998. Voir particulièrement les p. 16-19. Je renvoie également au plus récent, Patrik Lechner, *Multimedia Programming Using Max/MSP and TouchDesigner*, Birmingham, Packt Publishing, 2014.

représentation satisfaisante du mouvement. Cela peut se faire avec des niveaux de médiation assez différents. On peut aller d'une interaction directe (correspondance paramètre corporel-paramètre sonore) à des interactions de haut niveau se basant sur des descripteurs plus ou moins complexes (de l'extraction du squelette à la modélisation du geste, jusqu'à la formalisation de l'intentionnalité exprimé par le mouvement). Il s'agit de définir dans quelle mesure et dans quelles conditions le mouvement produit une modification du contenu sonore. Par exemple on peut décider d'activer une certaine interaction lorsque le geste dépasse un certain seuil d'accélération, ou alors la même interaction peut être activée lorsque le *performeur* entre dans une certaine région de l'espace. Dans ce cadre il s'agit de définir les seuils d'impédance c'est-à-dire le "comment" de l'interaction. 3. Le troisième bloc, qui correspond au mapping au sens strict du terme, comprends les opérations destinées à établir les principes d'interaction. Ces règles permettent de mettre en relation l'entrée codée (les données brutes ou les mouvements modélisés) avec la sortie sensorielle (l'objet sonore). Il s'agit d'un des aspects les plus fascinants et complexes de tout le processus de design interactif. Une fois réalisés des algorithmes capables d'interpréter correctement et de manière satisfaisante les informations expressives contenues dans le mouvement, le problème de l'utilisation de ces informations dans un spectacle artistique reste en effet ouvert. Cela peut se concrétiser par des modalités d'interactions assez directes (dans ce cas on parle de *mapping explicite*) ou à travers des formes de médiation assez complexes impliquant des processus génératifs sophistiqués (dans ce cas on parle plutôt de *mapping implicite*). Dans les deux cas, il s'agit de modéliser les seuils qualitatifs ou de "pertinence" de l'interaction. Ce processus permet d'établir quel aspect particulier du mouvement interagit avec un certain paramètre sonore. 4. Le dernier bloc du processus de création du système interactif coïncide avec la composition sonore. Dans cette phase, l'un des défis majeurs s'avère être le *design* d'interactions hautement intuitives, non seulement du point de vue de la réactivité de l'interface mais, surtout, du point de vue de l'isomorphisme entre la qualité du mouvement et la qualité sonore. L'isomorphisme entre son et mouvement peut se dérouler selon au moins deux points de vue[316] : la dynamique interne (effort, rythme,

[316] On pourrait également considérer la relation musique-mouvement selon d'autres aspects plus macro-structuraux mais cela dépasse le but de notre analyse.

tempo, etc.) et la texture (relation entre perception tactile et timbre)[317].

4.3.2 Problématique de l'expressivité du mapping

À part la phase de filtrage de données, qui représente un passage assez technique dont la finalité est d'établir un degré de réactivité du système satisfaisant, les autres aspects du design interactif ont pour but de trouver un équilibre entre la qualité de l'énergie exercée à travers le mouvement et la qualité du processus sonore. Bien évidement des formes d'interactions trop simples restent peu intéressantes du point de vue artistique. Dans ce cas les performances risquent d'aboutir à des formes purement démonstratives. Des interactions assez directes et intelligibles peuvent néanmoins s'avérer utiles dans des contextes pédagogiques ou avec un public de non-experts. D'autre part, lorsque le système s'avère trop complexe et que sa compréhension devient opaque, la sensation d'interactivité à tendance à disparaître. Les stratégies de mapping peuvent s'articuler entre deux extrémités : d'une part, les stratégies purement réactives, se caractérisant par une complexité limitée impliquant une autonomie expressive de l'*interacteur* assez faible, de l'autre, les stratégies de dialogue, caractérisées par une complexité élevée et par une forte autonomie expressive[318]. D'un point de vue pratique, dans beaucoup de créations artistiques une solution consiste à faire progresser la difficulté des interactions graduellement au cours de la pièce. Une alternative possible est aussi la construction dramaturgique de scénarios auto-explicatifs dans lesquels certains médias seraient consacrés à l'explication de l'interaction. De toute façon, l'enjeu principal du mapping réside dans la recherche d'une relation harmonieuse entre transparence de l'interface, d'une part, et qualité expressive du mouvement et du design sonore de l'autre. Une autre variable, souvent négligée, est le niveau d'incorporation de l'interface de la part du *performeur*. Si le processus d'incorporation peut être facilité par le design interactif (y compris les qualités sonores), le travail du *performeur* en termes d'expérimentation empirique des systèmes a un rôle absolument crucial.

---

[317] On reviendra sur les analogies son-mouvement lors du prochain chapitre en parlant de la théorie moto-mimétique. Cf. *infra*, p. 215-218.

[318] Cf. Antonio CAMURRI, Barbara MAZZARINO et Gualtiero VOLPE, "Contrôler par l'expressivité du geste l'environnement sonore et visuel dans les systèmes interactifs multimodaux" in *Interagir avec le numérique*, *op. cit.*, p. 137-151.

4.4 Hiérarchisation des niveaux de mapping

Le codage représente le cœur du processus interactif. Dans la subdivision proposée le codage coïncide avec le deuxième bloc du design interactif. D'ailleurs, il convient de noter que dans certains cas - notamment dans les stratégies implicites de mapping - le travail de codage s'articule également en fonction du mapping au sens strict, c'est-à-dire la mise en connexion entre *input* gestuelle *output* sonore. Etant donné cet entrelacement entre codage et mapping il faut alors parler de différentes tâches du processus interactif. D'un côté nous pouvons parler de *niveaux* d'interaction. Ceux-ci déterminent la structure syntaxique de l'interaction et impliquent une hiérarchisation des paramètres issus de la captation. Les différents niveaux sont établis par le biais de seuils d'impédance. Comme je le suggérais, dans le cas d'une modélisation complexe, les niveaux du codage peuvent déjà impliquer une introduction des « seuils de pertinence ». De l'autre côté, je propose de parler de *modalités* d'interaction. Ceux-ci définissent la qualité et donc la sémantique de la relation son-mouvement. Les modalités concernent principalement la phase du mapping au sens strict et impliquent pourtant la construction des « seuils de pertinence ». Néanmoins, des exemples particulièrement complexes de modélisation du geste peuvent impliquer la réalisation des seuils quantitatifs aussi bien que des seuils qualitatifs. Il faut pourtant préciser qu'une telle formalisation doit tenir compte des différents contextes d'application.

Trois niveaux de traitement de l'information peuvent être clairement définis[319]. 1. *Paramètres bruts de*

---

[319] Sur la hiérarchisation des niveaux de mapping voir également les classifications proposées par Alex MULDER, "Towards A Choice of Gestural Constraints for Instrumental Performers" in Marcelo M. WANDERLEY et Marc BATTIER (dir.), *Trends in Gestural Control of Music*, Paris, IRCAM - Centre Pompidou, 2000, p. 315-335; Frédéric BEVILACQUA et Emmanuel FLÉTY, "Captation et analyse du mouvement pour l'interaction entre danse et musique" in *Rencontres Musicales Pluridisciplinaires - le corps & la musique*, Lyon, France, 2004, https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01156921/document ; Antonio CAMURRI et al., "Communicating Expressiveness and Affect in Multimodal Interactive Systems" in *IEEE Multimedia*, 12(1), 2005, p. 43–53. Il convient de noter que si la hiérarchisation du mapping se base chez Camurri et chez Bevilacqua, sur le niveau d'analyse et de traitement des données, chez Mulder la hiérarchisation fait référence aussi aux modalités d'interaction perceptive. En ce sens les niveaux de mapping renvoient en même temps au seuils quantitatifs et qualitatifs : *interne* (données directes/contrôle paramétrique du son simple), *externe* (descripteurs complexes/contrôle multi-paramétrique du son) et *symbolique* (poursuite du geste/séquence musicales). Ma proposition, intègre principalement les classifications de Camurri et Bevilacqua.

captation (bas niveau) : dans ce cas on utilise les index issus directement du système de captation, correspondant par exemple à la position ou à l'accélération d'un point particulier du corps, pour contrôler un ou plusieurs paramètres musicaux. Cette forme de relation univoque permet au *performeur* de connecter le *feedback* sonore à un aspect simple du mouvement. Cependant, une forme d'interaction si directe peut s'avérer parfois limitante pour le potentiel expressif du corps (notamment pour la danse ou le théâtre physique). De plus, même si ces genres d'interactions peuvent sembler à priori intuitifs, ils se s'avèrent souvent difficiles à contrôler en pratique puisqu'ils obligent le *performeur* à travailler sur une représentation du corps qui ne lui correspond pas[320]. 2. *Paramètres dérivés directs* (niveau moyen) : une autre option consiste à utiliser les données issues de la captation pour créer une représentation plus intuitive du mouvement. Par le biais des opérations mathématiques, il est possible de dériver des quantités complexes résultantes suffisamment significatives pour le *performeur* en situation d'interaction. Une telle approche au traitement de données implique une connaissance préalable de la physiologie du corps ainsi que de la pragmatique expressive du geste. Ainsi à partir d'une vision holistique du mouvement, on peut rechercher des paramètres d'interaction beaucoup plus fins, comme par exemple la quantité de mouvement du corps (*QoM*[321]), le degré de contraction, le centre de masse, etc.. Toutes ces quantités donnent lieu à ce qu'on a appelé les « descripteurs de mouvement ». Ceux-ci ont été au centre de la recherche des systèmes pionniers

---

[320] Cette question, concernant le point de vue de l'interprétation s'avère très importante dans le cadre de la pratique artistique. Considérons par exemple qu'il est nécessaire de ne sonoriser que la flexion des coudes. Cela impliquera que le *performeur* sera obligé à faire des gestes, probablement non-naturels, explicitement destinés à la production sonore. De plus, il faut considérer que le *performeur* ne représente pas son corps en termes d'accélération ou d'axes cartésiens. Il faudra donc choisir préalablement si on veut développer un système adaptable à la pragmatique gestuelle du *performeur* ou si, au contraire, on cherchera plutôt à explorer le potentiel de reconfiguration du corps à partir des contraintes technologiques. On reviendra sur cette problématique lors du denier chapitre consacré à l'analyse des processus créatifs.

[321] Le *QoM* est un descripteur de mouvement qu'a été introduit pour la première fois par l'équipe de Antonio Camurri et Gualtiero Volpe dans le logiciel EyesWeb. En gros, ce descripteur est calculé en mesurant la variation entre l'aire occupé actuellement par la silhouette du *performeur* et les dernières images enregistrées. Pour plus de détailles voir la référence dans la note d'après.

de *motion tracking* dans les années 2000 comme par exemple le *EyesWeb* de l'InfoMus Lab[322] ou le *EyeCon* de la compagnie Palindrome[323]. 3. *Paramètres descriptifs de haut niveau* : par paramètres de haut niveau, je fait référence aux paramètres qui peuvent être élaborés en partant de la modélisation d'un certain répertoire gestuel (par exemple chorégraphique) ou encore à travers l'analyse de structures expressives complexes basées sur la qualité du mouvement[324]. En ce sens le mapping de haut niveau est souvent développé par rapport à un contexte donné. Ce niveau de traitement de l'information exploite souvent des techniques d'apprentissage automatique qu'on appelle *machine learning*[325]. Ces méthodes sont adaptées sur la base

---

[322] Pour une description détaillée des différentes librairies de "descripteurs de mouvement" présents dans *EyesWeb* voir Antonio CAMURRI, Barbara MAZZARINO et Gualtiero VOLPE, "Analysis of Expressive Gesture : The EyesWeb Expressive Gesture Processing Library" in Antonio CAMURRI et Gualtiero VOLPE (dir.), *Gesture-Based Communication in Human-Computer Interaction*, Berlin, Springer-Verlag, 2004, p. 460–467.

[323] En ce qui concerne les descripteurs de mouvement utilisés par Wechsler et Weiss je renvoie à Robert WECHSLER, "Artistic Considerations in the Use of Motion Tracking with Live Performers: a Practical Guide" in Susan BROADHURST and Josephine MACHON, *Performance and Technology: Practices of Virtual Embodiment and Interactivity*, *op. cit.*, p. 60-77.

[324] Il convient de noter que selon d'autres approches, le mapping basé sur l'analyse du geste est considéré comme un niveau intermédiaire entre les paramètres dérivés directs (les descripteurs du mouvement) et les paramètres de haut niveau (niveau expressif). À ce propos voir par exemple Antonio CAMURRI et Marc LEMAN, "Musical Content Processing for Expressive Gesture Applications in Interactive Multimedia" in *Proceedings of Conference on Interdisciplinary Musicology*, Graz, Austria, 2004.

[325] Le *machine learning* ou apprentissage automatique, désigne un ensemble de méthodes développées au cours des dernières décennies exploitant différentes techniques comme le calcul statistique, la reconnaissance des formes, les réseaux de neurones artificiels, la théorie des systèmes dynamiques, le traitement d'image, l'extraction de données, les algorithmes adaptatifs, donnant aux ordinateurs la capacité d'apprendre sans être explicitement programmé. En pratique, l'apprentissage automatique est étroitement lié à l'étude et au développement d'algorithmes qui peuvent apprendre à partir d'un ensemble de données et faire des prédictions à ce sujet, en créant un modèle inductif basé sur l'échantillon analysé. Cf. Ryszard S. MICHALSKI, Jaime G. CARBONELL e Tom M. MITCHELL, "An Overview of Machine Learning" in Id. (dir.), *Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach* (1983), Amsterdam, Elsevier, 2004, p. 2-23. Voir également Dionisios N. SOTIROPOULOS, George A. TSIHRINTZIS, *Machine Learning Paradigms : Artificial Immune Systems and their Applications in Software Personalization*, Cham (Switzerland), Springer International, 2017, p. 9-50.

d'un cadre théorique préétabli (par exemple la théorie de l'effort[326]) ou d'une pragmatique gestuelle - au sens linguistique du terme -spécifique (par exemple un style chorégraphique[327] ou une pratique d'interprétation musicale[328]).

4.4.1 Mapping basé sur l'analyse expressive de haut niveau et sur la poursuite du geste

Dans le cas du mapping de haut niveau, un système d'analyse par modèles (expressifs ou gestuels) est donc mis en place afin d'extraire des informations significatives. Il s'agit préalablement de définir le cadre conceptuel positionnant les caractéristiques du mouvement ou des gestes dans des structures sémantiques. Dans le cas de la danse, les modèles réalisés peuvent refléter certaines intentions expressives du danseur ou des catégories conceptuelles liées à la qualité du mouvement[329]. D'autre part, la modélisation peut exploiter un répertoire assez précis de geste. Dans ce cas, il s'agit de développer des algorithmes capables de comparer des modèles gestuels préalablement enregistrés avec le mouvement capté en temps réel. À l'inverse de l'analyse des structures expressives, dans ce cas le geste constitue l'unité sémiotique principale.

---

[326] La théorie de l'effort de Rudolf Laban met en évidence la nature dynamique du mouvement en l'analysant selon quatre caractères principaux : le temps, l'espace, le poids et le flux. Chacune de ces composantes est en outre mesurée selon une échelle bipolaire qui en représente les qualités extrêmes (ex. poids « fort » et poids « léger ») : cf. Rudolf LABAN et F.C. LAWRENCE [1947], *Effort. Economy of human movement*, London, Macdonald & Evans, 1974. En ce qui concerne l'utilisation de la théorie de l'effort comme outil pour l'analyse du mouvement et le mapping je renvoie à Antonio CAMURRI et al., "Automatic Classification of Expressive Hand Gestures on Tangible Acoustic Interfaces According to Laban's Theory of Effort" in Miguel Sales DIAS et Sylvie GIBET, *Gesture-Based Human-Computer Interaction and Simulation*, Berlin, Springer-Verlag, 2009, p. 151-162.

[327] Cf. Jan C. SCHACHER, "Motion To Gesture To Sound: Mapping For Interactive Dance" in *Proceedings of the International Conference on New interfaces for Musical Expression (NIME '10)*, Sydney, Australia, 2010.

[328] Voir parmi d'autres Nicolas RASAMIMANANA, Florian KAISER et Frédéric BEVILACQUA, "Perspectives on gesture-sound relationships informed from acoustic instrument studies" in *Organised Sound*, Cambridge University Press, 14(2), 2009, p. 208 -216.

[329] Cf. Sarah F. ALLAOUI et al., "Interactive Visuals as Metaphors for Dance Movement Qualities" in *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems (TiiS)*, 5(3), 2015. Voir également Anotnio CAMURRI et al., "The Dancer in the Eye: Towards a Multi-Layered Computational Framework of Qualities in Movement" in *MOCO '16 Proceedings of the 3rd International Symposium on Movement and Computing*, Thessaloniki, Greece, 2016.

Comme je le suggérais, le répertoire des modèles gestuels utilisé peut se baser sur un langage chorégraphique particulier[330], sur une pratique interprétative liée à un instrument spécifique (ex. les modes de jeu des instruments à cordes) ou sur un ensemble de gestes codifiés (dans une pièce de théâtre il peut s'agir, par exemple, de gestes fonctionnels, comme attraper un objet, ou symboliques comme des signes avec les mains[331]).

Dans la dernière décennie, ces méthodes ont connu un développement assez remarquable grâce aussi à la convergence interdisciplinaire entre secteurs de la recherche assez différents (robotique, design, physiologie, musicologie, informatique, réalité virtuelle, etc.[332]). En ce qui concerne l'interaction entre geste et son, diverses techniques d'apprentissage non-linéaires ont été expérimentées. Parmi les différentes méthodes utilisées il faut citer les techniques de *machine learning* basées sur les réseaux neuraux[333], sur l'analyse stochastique du rapport geste-son[334], ou sur d'autres modèles exploitant le calcul de probabilité et l'apprentissage temporel[335]. Le défi commun de toutes ces approches est souvent de développer des algorithmes capables d'associer un certain geste à certains paramètres sonores. Ces techniques exploitent

---

330 Voir par exemple l'installation/performance *Double Skin/Double Mind* réalisé par le chorégraphe Emio Greco en collaboration avec l'Ircam en 2006 : cf. Marion BASTIEN et Scott DELAHUNTA (dir.), *Capturing Intention: documentation, analysis and notation research based on the work of Emio Greco*, Amsterdam, AHK/Lectoraat, 2007.

331 Cf. parmi d'autres le système de *gesture recognition* développé par Naomi Jessop au sein du Media Lab du MIT de Boston : Naomi E. JESSOP et Peter A. TORPEY, "Disembodied Performance" in *Proceedings of CHI '09 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, Boston (Massachusetts), USA, 2009, p. 3685-3690.

332 Cf. Miguel SALES DIAS et Sylvie GIBET, *op. cit.*

333 Paul MODLER, "Neural Networks for Mapping Hand Gestures to Sound Synthesis parameters" in Marcelo M. WANDERLEY et Marc BATTIER (dir.), *op. cit.*, p. 301–314.

334 Heiga ZEN, Yoshihiko NANKAKU et Keiichi TOKUDA, "Continuous Stochastic Feature Mapping Based on Trajectory HMMs" in *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 19(2), 2011, p. 417–430.

335 Frédéric BEVILACQUA et al., "Continuous realtime gesture following and recognition" in Stefan KOPP et Ipke WACHSMUTH (dir.), *Gesture in Embodied Communication and Human-Computer Interaction,* Berlin, Springer, 2010, p. 73–84.

souvent une méthode d'apprentissage basé sur la "démonstration"[336]. Le système le plus célèbre au sein de cet axe de recherche est probablement le *Gesture Follower* développé à l'IRCAM à partir du 2007[337]. Comme d'autres systèmes similaires, la finalité générale du logiciel est de comparer en temps réel un geste exécuté avec un ensemble d'exemples préenregistrés, en utilisant des techniques issues du *machine learning*. En particulier, *Gesture Follower* indique, pendant la performance, le positionnement temporel (ou l'index) du geste (ou de certaines de ces composantes) par rapport aux références enregistrées. En d'autres termes, le système permet l'alignement en temps réel d'un geste exécuté avec une séquence préenregistrée.

4.8.2 Co-articulation entre geste et son comme principe du mapping adaptatif

Dans les années récentes, ce genre de mapping de haut niveau a été développé dans la direction d'une réciprocité majeure entre morphologie gestuelle et morphologie sonore. En s'inspirant du principe de *co-articulation* entre son et mouvement proposé par Rolf Gødoy, les recherches actuelles sur le mapping en temps réel essaient de développer des outils basés sur la hiérarchisation fonctionnelle des structures gestuelles et sonores :

> « We may see multiple frequencies simultaneously at work in the gestural rendering of musical sound […]. This subsumption of movements into more superordinate movements (e.g. finger movements as sub-movements of the hand/arm movements) can be understood as *coarticulation*. In coarticulation, the focus is typically shifted to a more superordinate trajectory, actually providing the basis for the parsing of music-related movements into chunks. This process of action chunking is important for understanding the process of auditory chunking as well, because we may often see that the overall trajectory of the chunk, e.g. its pitch contour or its

---

[336] Il s'agit en effet d'apprendre à un ordinateur ou à un robot des nouveaux comportements en démontrant la tâche à accomplir (par exemple la reconnaissance d'un certain geste) directement par échantillonnage (dans notre cas l'enregistrement et l'analyse du geste capté). Cf. Jules FRANÇOISE, Norbert SCHNELL et Frédéric BEVILACQUA, "Gesture-based control of physical modeling sound synthesis : a Mapping-by-Demonstration Approach" in *Proceedings of the 21st ACM international conference on Multimedia (MM'13)*, Barcelona (Spain), 2013, p. 447-448.

[337] Frédéric BEVILACQUA et al., "Wireless Sensor Interface and Gesture-Follower for Music Pedagogy", *op. cit.*

textural spread, is more readily rendered, and thus presumably more robustly perceived, than the detail movements within the chunk. »[338]

En bref, le principe de co-articulation se base d'une part sur l'idée que le son et le mouvement doivent être considérés comme les composants d'une même processus de co-génération à haut niveau (nous avons déjà parlé, lors du premier chapitre, de chiasme et d'entrelacement entre les différentes articulations sensorielles). De l'autre, la co-articulation exprime le fait que tantôt la matière sonore tantôt la matière gestuelle renvoient à une même structure hiérarchique. De manière similaire, Baptiste Caramieux, Nicola Montecchio, Atau Tanaka et Frédéric Bevilacqua[339] proposent de considérer le geste aussi bien que le son comme des structures ordonnées de segments temporels afin de développer une co-articulation hiérarchique entre échantillons sonores et gestuels. Une fois analysée la morphologie sonore selon des index structuraux (par exemple les composants temporels de la forme d'onde) il est possible de connecter ces index avec les composants formant le geste (lui aussi interprété comme unité temporelle structurée). L'application de fonctions d'analyse probabiliste comme les "Modèles de Markov Cachés" (en anglais *Hidden Markov Models* ou *HMM*)[340] aux méthodes d'apprentissage automatique permet enfin de réaliser un contrôle du processus sonore (génération, reproduction, traitement) basé sur une synthèse temporelle et adaptative du geste.

---

[338] Rolf I. GØDOY, "Geometry and Effort in Gestural Renderings of Musical Sound" in Miguel SALES DIAS et Sylvie GIBET, *op. cit.*, p. 212.

[339] Baptiste CARAMIEUX et al., "Adaptive Gesture Recognition with Variation Estimation for Interactive Systems" in *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems*, 4(4), 2014, p. 18-51.

[340] Les "chaînes de Markov" sont des processus stochastiques dans lesquels la probabilité de transition qui détermine le passage d'un état du système à un autre ne dépend que de l'état du système qui le précède immédiatement. Dans les modèles de Markov cachés l'état du système n'est pas connu. Nous ne pouvons observer que l'effet des transitions d'un état à l'autre. Ces modèles sont particulièrement connus pour leur application en reconnaissance de formes, en intelligence artificielle ou encore en traitement automatique du langage naturel.

4.5 Typologies interactives : seuils de pertinence entre geste et son

Après avoir défini les unités sémiotiques de l'interaction, quelles que soient les données brutes issues de la captation, les descripteurs du mouvement ou les modèles expressifs et gestuels, il faut établir la typologie et la modalité du dialogue qu'on souhaite développer avec le média sonore. Il s'agit donc de modéliser les seuils de "pertinence" de l'interaction, c'est-à-dire la qualité des transformations que le *performeur* peut exercer sur la matière sonore par le biais du mouvement. Trois modalités d'interaction entre mouvement et son sont normalement utilisées[341] : les *triggers*, les contrôles continus, et les algorithmes décisionnels ou dynamiques[342]. 1. Les *triggers* sont des messages discrets faisant office de déclencheurs ou d'interrupteurs pour toutes sortes d'événements. Le *triggering* (ou déclenchement en français) représente la modalité la plus commune d'interaction permettant d'établir des relations immédiates entre geste et son. Dans le cas le plus simple un geste soudain, caractérisé par une dynamique appréciable, peut être employé pour déclencher un événement sonore[343]. Dans ce cas on peut utiliser par exemple la captation de l'accélération du geste (avec un accéléromètre) ou mesurer le changement soudain de direction d'un bras (avec un gyromètre) pour extraire un signal discret contrôlant le déclenchement d'un son. Une autre option consiste à utiliser la position du *performeur* dans l'espace pour envoyer des messages discrets. En entrant dans une zone d'intérêt (délimitée à travers la captation optique ou des capteurs magnétiques ou des pression sur scène), le performeur pour déclencher un son et activer ou interrompre la reproduction d'autres événements complexes. En général, il s'agit alors d'établir des correspondances sur la base de la simultanéité. Dans le cas

---

[341] Cf. parmi d'autres, Frédéric Bevilacqua, Norbert Schnell et Sarah F. Alaoui, "Gesture Capture: Paradigms in Interactive Music/ Dance Systems", *op. cit.*. Dans l'article les auteurs proposent également trois exemples paradigmatiques correspondant à autant de modalités d'interaction : "Triggering sound events", "Continuous control of sound grains" et "Gesture recognition for media control". Par contre, je considère les algorithmes de poursuite de geste comme un cas particulier de modalité générative. Voir aussi Todd Winkler, "Motion-sensing music: artistic and technical challenges in two works for dance" in *Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC)*, 1998, p. 471-475. Bien que ne présentant pas une taxonomie structurée, la description des systèmes interactifs proposée par Winkler contient, en gros, toutes les modalités à lesquelles je fais référence.

[342] Selon Martin Laliberté, les deux premières catégories *trigger* et contrôle continu renvoient à d'autant archétypes de la musique : la percussion et la voix. Cf. par exemple Martin Laliberté, "Le compositeur et son dispositif" in Gérard Leblanc et Sylvie Thouard (dir.), *Numérique et transesthétique*, Villeneuve-d'Ascq, Presses Universitaires du Septentrion, 2012 p. 193-215.

[343] Cf. par exemple Jean-François Trubert et Grégory Beller, *op. cit.*, p. 508-509.

par exemple de la danse, les relations établies présentent un intérêt tout particulier pour soutenir la rythmicité du mouvement (à travers des mouvements répétés il est possible de construire des séquences rythmiques), pour amplifier les mouvements vibratoires en termes d'effort soudain, ou encore pour délimiter des régions "sensibles" dans l'espace scénique (cela est d'ailleurs un principe clé de tout espace interactif y compris les espaces théâtraux et les installations réactives). 2. Les contrôles continus caractérisent toutes les formes d'interaction linéaires entre un ou plusieurs paramètres gestuels (tantôt des données brutes comme le mouvement de la main sur un certain axe tantôt des descripteurs plus complexes comme le niveau de contraction du corps) avec un ou plus paramètres musicaux (comme les paramètres contrôlant une synthèse FM ou les effets modulant un son préenregistré). Ceux-ci permettent d'établir des relations qui, contrairement au *triggers*, reflètent l'évolution du mouvement. Les correspondances perceptibles se basent alors non seulement sur la simultanéité, mais également sur les évolutions conjointes de certaines caractéristiques. Les exemples de contrôle continu qu'on peut imaginer sont assez nombreux. On peut par exemple contrôler la fréquence de coupure d'un filtre passe-bas (du grave vers l'aigu) en mesurant l'inclinaison d'un bras du bas vers le haut. Un aspect importante à souligner est le fait qu'une évolution conjointe de caractéristiques du mouvement et de la musique n'implique pas forcement un rapport proportionnel. Au-delà des informations gestuelles captées et des paramètres musicaux choisis, on peut exploiter des relations inverses, logarithmiques, exponentielles ou même non linéaires. On peut par exemple contrôler le degré d'imprévisibilité d'une distribution aléatoire des fréquences (comme dans le cas de la synthèse granulaire). 3. Les algorithmes décisionnels et dynamiques permettent d'établir des relations elles-mêmes évolutives qui s'adaptent alors à l'interprétation et optimisent ainsi les correspondances établies[344]. Ils favorisent tout particulièrement le dialogue dans la mesure où ils permettent au dispositif d'adapter son comportement à celui du *performeur* voire d'acquérir un caractère propre. Il s'agit donc des modalités d'interaction génératives qui peuvent se baser sur des principes assez divers. Nous avons déjà parlé des algorithmes de poursuite de geste se basant sur des principes probabilistes d'adaptation entre

[344] Cette troisième typologie d'interaction geste-son peut également être définie comme « model-based sonification » : cf. Thomas HERMANN, Oliver HÖNER et Helge RITTER, "AcouMotion – An Interactive Sonification System for Acoustic Motion Control" in Sylvie GIBET, Nicolas COURTY, Jean-François KAMP (dir.), *Gesture in Human-Computer Interaction and Simulation 6th International Gesture Workshop*, Berlin, Springer-Verlag, 2005, p. 312-323.

échantillon sonore et gestuel. D'autres systèmes peuvent se baser sur l'exploitation des modèles mathématiques complexes comme les réseaux de neurones artificiels, les automates cellulaires, les techniques stochastiques ou d'autres méthodes issues de l'Intelligence Artificielle[345].

4.5.1 Processus d'évaluation qualitatifs et quantitatifs

Les méthodes basées sur l'analyse du geste ou sur d'autres formes de mapping adaptatif exploitent principalement des stratégies implicites de mapping entre geste et son. Dans ce cadre, la construction des niveaux de médiation et des seuils "quantitatifs" a un rôle prédominant. Les approches basées sur les stratégies explicites privilégient au contraire le choix de la modalité d'interaction ou de la typologie de processus sonore. L'étude et l'analyse de la relation entre modalité d'interaction et production sonore a été objet d'un intérêt croissant déjà au début des années 2000[346]. Selon ces approches, il est possible de construire le protocole de mapping en adaptant le système de captation et la modélisation du mouvement à une certaine technique de génération et/ou de manipulation sonore. Dans ce cas, les stratégies de mapping

---

[345] Je renvoie le lecteur à deux textes classiques qui ont posé les bases pour la réflection autour de l'interaction intelligente et dynamique entre *performeur* et machine : Pierre-François BAISNÉE et al., "Real-time Interaction between Musicians and Computer: Live Performance Utilisations of the 4X Musical Workstation" in *Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC)*, 1986, p. 237-239; Joel CHADABE, "Interactive composing: An overview" in Curtis Roads (dir.), *The music machine: Selected readings from computer music journal*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 1989, p. 143-148. Pour un panorama sur les différentes typologies d'algorithmes adaptatifs et dynamiques utilisés dans le domaine de la musique interactive voir Robert ROWE, *Machine Musicienship*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2001, p. 93-144 et 235-276. Je renvoie également à deux études concernants des applications récentes : Guy HOFFMAN et Gil WEINBERG, " Interactive Improvisation with a Robotic Marimba Player" in Jorge SOLIS et Kia NG (dir.), *op. cit.*, p. 233-251; Nick COLLINS, "Virtual Musicians and Machine Learning" in Karen COLLINS, Bill KAPRALOS et Holly TESSLER (dir.), *The Oxford Handbook of Interactive Audio*, New York, Oxford University Press, 2014, p. 350-363.

[346] Cf. Andy HUNT, Marcelo M. WANDERLEY et Ross KIRK, "Towards a Model for Instrumental Mapping in Expert Musical Interaction" in *ICMC: International Computer Music Conference*, Berlin, Germany, 2000; Vincent VERFAILLE et al., "Strategies of mapping between gesture parameters and synthesis model parameters using perceptual spaces" in *Organised Sound*, Cambridge University Press, 7(2), 2002, p. 135–52; Marcelo M. WANDERLEY and Philippe DEPALLE, "Gestural control of sound synthesis" in *Proceedings of the IEEE - Supervisory Control and Auditory Communication*, 92(4), 2004, p. 632 - 644.

sont informées par le modèle de manipulation sonore envisagé[347]. Il s'agit alors de développer des interfaces et des principes d'interactions adaptés à contrôler tel ou tel autre processus sonore[348]. Dans le cadre de la création des instruments musicaux numériques (en anglais *Digital Musical Instruments* ou *DMI*), Wanderley et Ofrio remarquent deux démarches complémentaires : d'une part il est possible de développer des interfaces adaptées à un certain répertoire d'habilités motrices (ex. uns certaine classe de mouvements liés à un instrument existant), de l'autre on peut créer des nouvelles interfaces capables d'induire l'émergence d'une pragmatique gestuelle inédite[349]. Il faut préciser qu'il y a au moins une troisième démarche possible que les auteurs ne prennent pas en considération dans leur article, à savoir le développement de systèmes capables de générer d'une part de nouveaux gestes et de l'autre des processus sonores inédits. C'est par exemple le cas de l'utilisation des signaux de contrôle particuliers comme les *bio-feedbacks*. Ceux-ci ne sont pas directement liés à un langage instrumental précis, néanmoins ils demandent un design interactif adapté afin d'en valoriser les propriétés spécifiques.

Une approche basée sur la prédominance des seuils qualitatifs a comme point de départ l'interaction concrète avec le *feedback* sonore. Cette méthode privilégie une démarche plus empirique basée sur la réalisation de tâches graduelles. Un rôle central est joué par l'évaluation. Sile O'Modrian, par exemple, présente un cadre théorique pour l'évaluation conjointe de l'interaction sonore de la part du *performeur*, du public, du designer et du programmateur (dans certains cas, les deux dernières figures peuvent coïncider)[350]. Étant donnée la variabilité du medium numérique (dont on a déjà parlé dans le chapitre

---

[347] Cf. Vincent VERFAILLE, Marcelo M. WANDERLEY et Philippe DEPALLE, "Mapping Strategies for Gestural and Adaptive Control of Digital Audio Effects" in *Journal of New Music Research*, 35, 2006, p. 71-93.

[348] Pour une analyse générale de relations pertinentes entre typologie d'interface, modalité d'interaction et processus sonore je renvoie à Garth PAINE, " Towards unified design guidelines for new interfaces for musical expression" in *Organised Sound*, Cambridge University Press, 14(2), 2009, p. 142-155.

[349] Marcelo M. WANDERLEY et Nicola ORIO, "Evaluation of Input Devices for Musical Expression: Borrowing Tools from HCI" in *Computer Music Journal*, MIT Press, 26(3), 2002, p. 62-76.

[350] Sile O'MODHRAIN, "A Framework for the Evaluation of Digital Musical Instruments" in *Computer Music Journal*, MIT Press, 35(1), 2011, p. 28–42.

précédent), le principe d'évaluation se base sur le fait que le design de l'interface et des processus sonores peuvent être réalisés indépendamment l'un de l'autre, ce qui n'est pas le cas des instruments acoustiques[351]. En règle générale, l'évaluation empirique permet de définir, entre autre, les unités gestuelles les plus adaptées pour accomplir une certaine tâche. Ce processus amène à la définition de « seuils qualitatifs ». La tâche consiste normalement à définir une certaine typologie d'interaction couplée à un certain processus sonore. Cette modalité est testée à travers différentes formes de contrôle. Par exemple, Kiefer et al. ont étudié le degré de précision dans l'exécution de gestes "percussifs" avec différents systèmes de déclenchement (un contrôleur Wiimote et une batterie électronique Roland HPD-15 HandSonic) [352]. Lors d'une étude similaire, Collicut et al. ont évalué, à travers une analyse statistique, la réponse à diverses tâches avec plusieurs dispositifs impliquant une modalité d'interaction par déclenchement (V-Drum, Buchla Lightning II, Miramax Radio Baton, Tom Drum)[353]. En ce qui concerne le contrôle continu, Marshall et Wanderley ont étudié l'*usabilité* de systèmes de captation assez différents (accéléromètre, potentiomètre linéaire, potentiomètre rotatif, capteur de position ou Ribbon, et capteur de pression FSR) pour la modulation de fréquence[354]. Les mêmes auteurs ont analysé, dans une autre étude, la capacité de moduler aisément différents paramètres musicaux exploitant des systèmes de captation divers (captation optique,

---

[351] À ce propos, dans leur excellent ouvrage, Wanderley et Miranda proposent de définir les systèmes interactifs pour le contrôle en temps réel de la musique selon deux pôles complémentaires : les unités d'interface ou de contrôle gestuel (*interface or gestural control units*) et les unités de production sonore (*sound production units*). Cf. Eduardo R. MIRANDA et Marcelo M. WANDERLEY, *New digital musical instruments: control and interaction beyond the keyboard*, Middleton (Wisconsin), A-R Editions, 2006, p. 1-18.

[352] Chris KIEFER, Nick COLLINS et Geraldine FITZPATRICK, "HCI Methodology For Evaluating Musical Controllers : A Case Study" in *Proceedings of the Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME '08)*, 2008, Genova, Italy, p. 87–90.

[353] Mike COLLICUTT, Carmine CASCIATO, et Marcelo M. WANDERLEY, "From real to virtual: A comparison of input devices for percussion tasks" in *Proceedings of the International Conference on New interfaces for Musical Expression (NIME '09)*, Pittsburg (PA), USA, 2009, p. 1-6.

[354] Mark T. MARSHALL et Marcelo M. WANDERLEY, "Evaluation of sensors as input devices for computer music interfaces" in Richard KRONLAND-MARTINET, Thierry VOINIER et Sølvi YSTAD, *Proceedings of Computer Music Modeling and Retrieval conference (CMMR 2005)*, Berlin, Springer-Verlag, 2006, p. 130– 139.

accélération ou pression)[355]. D'autres études ont expérimenté des méthodes d'évaluation similaires tantôt en termes qualitatifs (la satisfaction subjective des utilisateurs) que quantitatifs (la précision dans l'exécution d'une certaine tâche musicale et motrice)[356].

4.6 Modalités de mapping

D'un point de vue sémiotique, il y a deux unités principales de l'interaction : le geste et le son. Leur rapport est modélisé sur la base des niveaux d'extraction de l'information (les seuils quantitatifs) et par le biais de différentes typologies comportementales de l'interaction (les seuils qualitatifs). Une dernière variable du processus de mapping concerne la modalité des interactions en temps réel. Cela peut être considéré comme un aspect faisant partie de l'ensemble des seuils qualitatifs. Néanmoins il s'agit de seuils qualitatifs différents. Si la typologie de mapping concerne la réponse sonore à l'*input* gestuel, la modalité définit l'articulation interne entre paramètres gestuels et sonores.

Conventionnellement, on divise les modalités de mapping en deux catégories : le *mapping implicite* et le *mapping explicite*[357]. Le premier inclut tout processus impliquant des modèles d'auto-organisation internes au système. C'est le cas par exemple des systèmes exploitant algorithmes dynamiques ou adaptatifs, auxquels j'ai déjà fait référence. Comme nous l'avons vu dans le cadre de la poursuite du geste, on utilise des modèles probabilistes pour "adapter" de manière automatisée l'alignement entre paramètres de l'échantillon sonore et paramètres de l'échantillon gestuel. En ce sens, l'alignement (qui correspond dans ce cas avec le mapping geste-son) n'implique pas une procédure explicite de la part du designer. Il faut toutefois préciser que l'utilisation des algorithmes décisionnels ou adaptatifs a des conséquences différentes sur les typologies et sur les modalités. La modalité concerne l'auto-corrélation entre unités

---

[355] Mark T. MARSHALL et al., "Sensor choice for parameter modulations in digital musical instruments: Empirical evidence from pitch modulation" in *Journal of New Music Research*, 38(3), 2009, p. 241–253.

[356] Pour une analyse approfondie des méthodes d'évaluation voir Amandine PRAS, Mahtab GHAMSARI-ESFAHANI et Marcelo M. WANDERLEY, "Combining musical tasks and improvisation in evaluating novel Digital Musical Instruments" in *International Symposium on Computer Music Multidisciplinary Research (CMMR13)*, Marseille (France), 2013.

[357] Cf. Andy HUNT et Marcelo M. WANDERLEY, "Mapping performer parameters to synthesis engines" in *Organised Sound*, 7(2), Cambridge University Press, 2002, p. 97–108.

gestuelles (données brutes, descripteurs, paramètres de haut niveau, etc.) et unités sonores (paramètres de synthèse sonore, effets audio, etc.). La typologie concerne la réactivité du son par rapport à l'*input* gestuel. En ce sens nous pouvons avoir une typologie simple (une modulation, un déclenchement) combiné à une modalité complexe de génération sonore exploitant des algorithmes génératifs[358].

Le mapping explicite au contraire, comporte une corrélation empirique entre paramètres gestuels et paramètres musicaux. Traditionnellement, les stratégies de mapping explicite sont classées en trois groupes[359]. 1. *One-to-one* ou *direct mapping* : un paramètre gestuel est utilisé pour contrôler un et un seul paramètre musical indépendant via des protocoles de communication (MIDI, OSC, etc.) : ex. la distance de la main au capteur de proximité détermine la variation de fréquence d'un oscillateur. Il s'agit de la modalité de mapping la plus simple et habituelle, mais aussi la moins expressive. Elle présente l'avantage d'être immédiatement intelligible pour l'utilisateur (ainsi que pour le public dans une situation de spectacle). En ce sens, elle peut s'avérer utile dans des contextes d'expérimentation pour non-experts (pédagogie, rééducation motrice, analyse du mouvement). 2. *One-to-many* ou *divergent mapping* : un paramètre gestuel est assigné simultanément à plusieurs paramètres musicaux : ex. la flexion du coude d'un bras contrôle au même temps la variation de fréquence et la résonance d'un filtre appliqué sur un échantillon sonore. Cette modalité permet d'accomplir un contrôle global de la matière sonore avec un résultat plus expressif en termes musicaux. Néanmoins cette approche peut s'avérer limitante du point de vue de l'interaction corporelle. De plus elle ne permet pas un contrôle sur la microstructure interne de l'objet sonore. 3. *Many-to-one* ou c*onvergent mapping* : plusieurs paramètres gestuels (données bruts, descripteurs de mouvement, pattern gestuels, etc.) convergent pour contrôler un seul paramètre musical : ex. la contraction de l'avant-

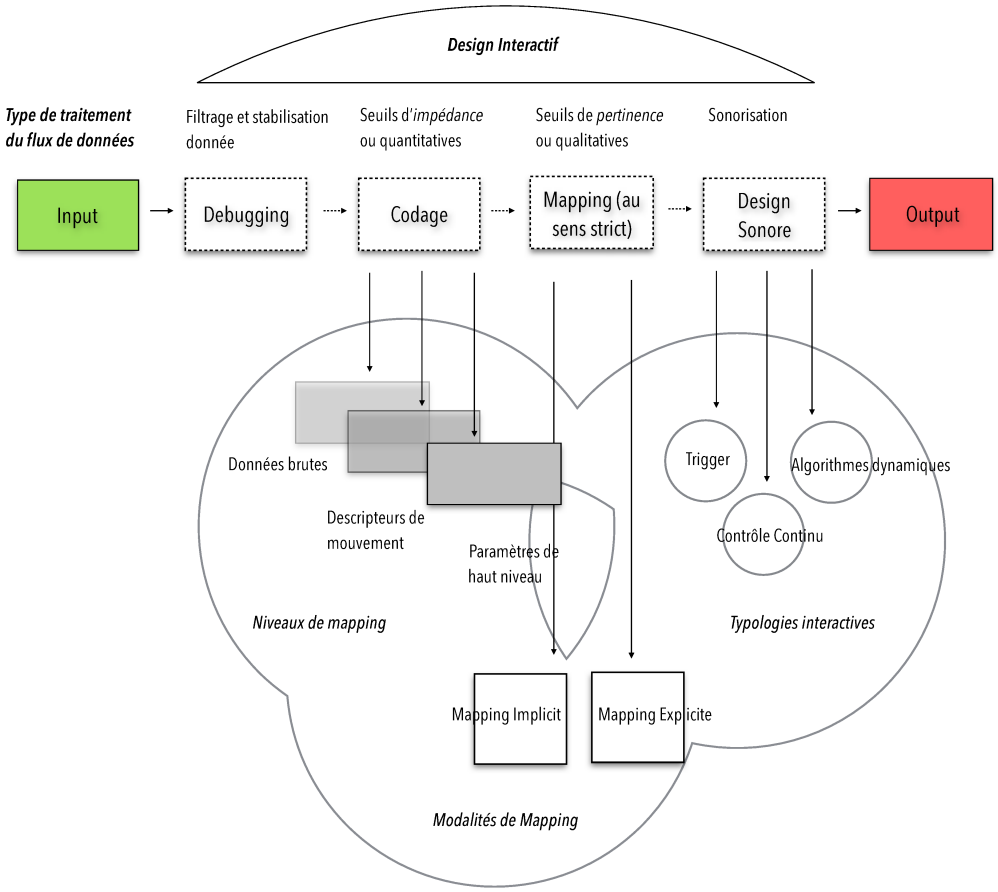
---

[358] Voir par exemple Ali Momeni and Cyrille Henry, "Dynamic Independent Mapping Layers for Concurrent Control of Audio and Video Synthesis" in *Computer Music Journal*, 30(1), MIT Press, 2006, p. 49-66. Dans leur article, les auteurs proposent une étude de cas dans laquelle des typologies d'interaction assez simples (un contrôle continu de paramètres bidimensionnels réalisé grâce à une tablette graphique Wacom), permettent de contrôler en temps réel des processus génératifs audiovisuels complexes basés sur l'interpolation temporel entre différents modèles physiques (acoustiques et graphiques) et sur l'évolution interne des modèles.

[359] Cf. Joseph B. Rovan et al., "Instrumental Gestural Mapping Strategies as Expressivity Determinants in Computer Music Performance" in *Proceedings of the AIMI International Workshop: KANSEI-The Technology of Emotion*, Genova, Italy, 1997, p. 68-73.

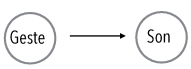
bras combinée à la rotation du poignet est utilisée pour moduler la durée d'un échantillon. Bien que plus difficile à maîtriser, cette modalité présente des avantages en termes d'expressivité car il implique un niveau d'engagement majeur.

Schéma 5 - Architecture du processus interactif

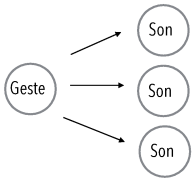


Modalités de Mapping Explicite

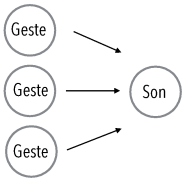
1. *One-to-one* Mapping Direct



2. *One-to-many* Mapping Divergent



3. *Many-to-one* Mapping Convergent



4.6.1 Cohérence gestuelle et complémentarité multimodale

Évidemment il est possible de combiner plusieurs modalités à l'interne d'un même algorithme afin d'obtenir un mapping stratifié et non-linéaire. Cela permet d'intervenir tantôt sur la microstructure tantôt sur la macrostructure de l'objet sonore en développant un dialogue complexe entre mouvement et son. Une telle approche multi-linéaire demande une pratique approfondie des systèmes interactifs. À ce propos, il est intéressant d'analyser dans quelle mesure l'expérience artistique peut améliorer l'efficacité des stratégies de mapping. Bien évidemment le point de vue de la pratique performative est enraciné dans une démarche empirique. Dans ce cas l'efficacité du mapping n'est pas évaluée en termes de fonctionnalité des modèles de codage employés. L'évaluation artistique se base plutôt sur la correspondance entre la rétroaction sensorielle du *feedback* acoustique et l'organisation perceptive du mouvement. En d'autres termes, les critères d'*usabilité* artistique de l'interface font référence au fonctionnement holistique de l'interaction. La question devient alors : dans quelle mesure la conscience interne du mouvement, la réactivité du système et la qualité sonore du *feedback* sont-elles intégrées de manière cohérente? Robert Wechsler utilise l'expression anglais *compliance* pour définir le régime d'intégration à haut niveau entre geste et son :

> « Compliance concerns the psychology of the relationship: input and output. This is a complex question involving issues of visual and acoustic perception and the relationship between the two in performance settings. As every choreographer knows, while physically unrelated, in our perception, sound and movement are often blended together and even confused with one another. Each choice of mapping offers different directions of compliance. For example, 'more movement' may result in more sound, but it can also result in less sound. This may seem counter-intuitive, but there are actually situations where it feels exactly right. For example, holding a lifted shape, what dancers call a 'suspension', often require a good deal of energy from the standpoint of the performer even though very little movement is involved. Thus, this high energy situation, this moment of less motion, might be effectively mapped to more sound. »[360]

Considérer l'aspect « psychologique » de la relation implique une réflexion globale sur les différents

[360] Robert WECHSLER, "Artistic Considerations in the Use of Motion Tracking with Live Performers: A Practical Guide", *op. cit.*, p. 66-67.

éléments en jeu dans le processus interactif. Par cela Wechsler critique les approches traditionnelles au mapping en les considérant peu efficaces du point de vue de l'organisation perceptive du mouvement. L'analyse tridimensionnelle du mouvement, par exemple, bien qu'elle fournisse une grosse masse de données oblige le *performeur* à penser sa corporéité en termes d'espace cartésien (x,y,z). D'ailleurs, certains descripteurs, comme l'extraction du squelette, sont basés sur une cohérence purement visuelle entre le corps et sa représentation numérique. Au delà des avantages en termes pratiques, même la poursuite du geste peut être assez contraignante dans la mesure où le mouvement est décomposé en unités gestuelles ce qui limite le potentiel de transformation de l'anatomie corporelle[361]. Wechsler propose au contraire de penser le mapping en fonction d'une co-articulation perceptive entre morphologie gestuelle et morphologie sonore. Pendant des années, le chorégraphe a travaillé tout particulièrement sur la recherche des formes de cohérence de haut niveau entre mouvement dansé, qualité sonore et qualité de lumière[362]. Une telle approche permet d'adapter les différentes variables du mapping (niveaux d'extraction de données, typologies de réactivité, choix de modalités interactives) empiriquement en évaluant l'apport de la dimension sonore sur le geste. Par cela il est possible d'accomplir ce qu'il appelle une « cohérence gestuelle », à savoir la conscience du fait que le son produit n'est pas simplement l'effet du mouvement mais en est l'extension intuitive et synesthésique[363].

La réflexion théorique et pratique de Atau Tanaka s'inscrit dans une démarche similaire à celle de Wechsler. Atau Tanaka est sans doute le premier artiste a avoir conduit une recherche systématique autour de l'interaction entre musique et bio-signaux (et particulièrement les signaux EMG). À partir du début des

---

[361] Cf. Enrico PITOZZI, "*Bodysoundscape*: the cognition of a movement. A conversation with Robert Wechsler | Palindrome" in *Archée*, 2015 URL : http://archee.qc.ca/ar.php?page=article&no=472 Consulté le 28/07/2017.

[362] Je renvoie à ce propos à la taxonomie comparative proposée par le chorégraphe : Robert WECHSLER, "Mappings - applying the lessons of motion tracking. An open letter to musical collaborators", 2009 URL : http://www.palindrome.de/content/pubs/interact3.pdf Consulté le 28/07/2017.

[363] Robert WECHSLER, Frieder WEISS, Joseph B. ROVAN, "Artistic Collaboration in an Interactive Dance and Music Performance Environment : Seine hohle Form, a project report COSIGN 2001" in *1st International Conference on Computational Semiotics in Games and New Media*, Amsterdam (Netherlands), 2001, p. 43-47.

années 1990, il commence à réaliser une série de performances et d'installations basées sur l'utilisation de l'interface *Biomuse*[364], un dispositif conçu par Hugh Lusted et Benjamin Knapp dans le but de capter différentes typologies de signaux électriques produits par le corps humain[365]. Au centre de sa démarche il y a la notion de « viscéral » [*visceral*][366]. Le terme est utilisé par Tanaka pour désigner le haut niveau de participation cognitive et corporelle dans le processus de génération sonore. Cela doit se baser sur la combinaison de deux éléments-clé : l'intentionnalité du geste et la perception du mouvement. Dans ce but, Tanaka développe, au sein de sa pratique, des stratégies de mapping basées sur le concept de « complémentarité bidirectionnelle »[367]. Techniquement il s'agit d'une forme d'hybridation entre le mapping convergent et le mapping divergent : plusieurs *inputs* sont utilisés pour contrôler différentes qualités musicales d'un même objet sonore. Toutefois, les paramètres interactifs ne sont pas simplement superposés. Dans le mapping bidirectionnel chaque paramètre interactif est suffisamment autonome pour contrôler un aspect micro-structural du son. D'autre part, la corrélation entre les différentes *inputs* physiques permet un contrôle expressif et organique du processus sonore au niveau macro-structurel. Cela permet d'accéder à la manipulation sonore à travers différents niveaux d'implication corporelle. De plus, la particularité de la complémentarité bidirectionnelle chez Tanaka, consiste à exploiter tantôt la captation du mouvement tantôt l'analyse des bio-signaux. Concrètement, si par exemple les signaux EMG peuvent être utilisés pour créer la base sonore par le biais de la contraction du muscle, les capteurs de position peuvent moduler les paramètres internes au son à travers le changement de position de l'avant-bras. Cette articulation interne au mapping a une conséquence importante en termes d'organisation perceptive : si la détection physiologique du geste permet la saisie d'informations sur l'intention du mouvement, la captation de la position informe le *performeur* sur la manière dont le mouvement s'articule dans l'espace. Deux modalités perceptives différentes, mais entrelacées, sont pourtant sonorisées (la sensation du mouvement et la sensation

---

[364] Atau TANAKA, "Musical technical issues in using interactive instrument technology with application to the BioMuse" in *Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC '93)*, Tokyo, Japan, 1993, p. 124-126.

[365] Hugh LUSTED et Benjamin KNAPP, "Controlling Computers with Neural Signals" in *Scientific American*, 275(4), 1996, p. 82-87.

[366] Atau TANAKA, "BioMuse to Bondage: Corporeal Interaction in Performance and Exhibition", *op. cit.*

[367] Atau, TANAKA et Benjamin KNAPP, "Multimodal Interaction in Music Using the Electromyogram and Relative Position Sensing", *op. cit.*

musculaire). Du point de vue de la rétroaction sensorielle il ne s'agit donc pas d'une simple richesse en termes de paramètres sonores. L'interaction multimodale impliquée dans cette approche du mapping offre au *performeur* la possibilité d'accéder à différents niveaux de conscience corporelle. Selon une logique de la compensation mutuelle, chaque *feedback* sensoriel interagit avec les autres *feedback* en produisant une conscience organique du mouvement.

Chapitre 5

Sonoriser le mouvement et corporiser le son.

Déterritorialisation du corps sonore et cognition musicale incarnée.

5.1 Re-configurer le corps par le biais du son et repenser le son à partir du corps

Après avoir proposé une classification des différents modèles de mapping entre geste et son, nous pouvons maintenant revenir sur certains aspects théoriques de la relation entre corporéité et médiation technologique cette fois-ci en portant l'attention sur le rôle du sonore dans le processus d'organisation perceptive du mouvement. À ce propos, ma réflexion se déroule sur deux axes : d'une part, les effets de déterritorialisation produits par les médias sonore sur l'anatomie corporelle, de l'autre, l'émergence d'une épistémologie corporelle du sonore en relation à la médiation technologique. En ce qui concerne le premier aspect, ma thèse consiste à affirmer que l'émergence des systèmes de captation du mouvement et des stratégies de mapping a provoqué une inédite *diffraction* du geste sonore au-delà des frontières spécifiques de la pratique musicale. En effet, l'évolution des technologies interactives pour le contrôle et le traitement du signal acoustique en temps réel, a permis non seulement d'élargir les frontières des nouvelles lutheries électroniques[368], mais aussi de générer de nouvelles pratiques corporelles liées à l'interaction avec le son. Tantôt dans les travaux récents de Cindy Van Acker, Ginette Laurin, Isabelle Choinière et Wayne McGregor, tantôt dans des créations pionnières comme celles de Troika Ranch et du Palindrome Intermedia Group, l'interaction sonore est incorporée dans le langage chorégraphique qui devient ainsi le producteur de nouveaux gestes musicaux et de corporéités sonores inédites[369]. Le deuxième aspect est une conséquence du premier. Comme on l'a vu, la conception des systèmes interactifs se base sur l'idée d'une sorte d'isomorphisme permettant la transduction de l'énergie physique - canalisée par les gestes, la tension musculaire, ou le mouvement - en processus sonores. Cette corrélation technologique entre morphologie gestuelle et morphologie sonore nous permet de penser le rapport entre perception sonore et organisation sensori-motrice d'une manière inédite. Activant les processus projectifs et figuratifs liés à la perception sonore, le *performeur* (ou l'*interacteur*) devient capable d'imaginer le mouvement non pas sur la base des canaux proprioceptifs habituels mais à partir des sensations acoustiques produites par le biais du mouvement. Cette attention portée à la relation entre son et mouvement semble caractériser le domaine de la recherche aussi bien que de la pratique artistique (les deux sont d'ailleurs de plus en plus connectés). En

[368] En musicologie anglophone on parle plutôt de « new digital musical instruments » ou tout simplement de *DMI* : cf. Eduardo R. MIRANDA et Marcelo M. WANDERLEY, *op. cit.*, p. 1-18.

[369] Cf. Enrico PITOZZI, "Body soundscape. Perception, movement and audiovisual developments in contemporary dance", *op. cit.*

ce sens, nous pouvons affirmer que la médiation technologique contribue à l'apparition d'une sorte d'épistémologie « *audiotactile* »[370]. Une telle hypothèse résonne quelque part avec la position de Mark Hansen selon laquelle le numérique déterminerait une émergence de l'espace haptique[371]. D'autre part, la sonorisation de l'activité physique permet de repenser l'ontologie acoustique non plus selon le modèle du phénomène vibratoire, ce que nous avons appelé l'ontologie de l'immatériel et de l'éphémère, mais en termes de puissance charnelle et d'enracinement corporel. De telles considérations permettent, d'ailleurs, de formuler des réflexions originales sur la problématique de la médiation technologique, pour longtemps polarisée autour de la question de la vision et des images numériques.

5.2 De la déterritorialisation du corps sonore

Comme on l'a vu, les dispositifs de captation du mouvement ainsi que les systèmes d'interaction geste-son peuvent être employés dans une variété des contextes liés à la pratique artistique. En se limitant aux seuls domaines de la danse et de la musique, deux conséquences importantes peuvent être mises en lumière. D'une part, l'interactivité de médias numériques introduit une forte réciprocité en termes technologiques : les mêmes systèmes électroniques et informatiques peuvent être utilisés tantôt pour des performances musicales tantôt pour des performances de danse. De l'autre, l'avènement des techniques de captation et d'analyse informatique du mouvement produit une sorte de dérive de modèles épistémologiques de la danse à la musique, et *vice versa*.

Le premier aspect, la réciprocité technologique, a deux conséquences. Du côté de la danse, les technologies interactives permettent d'inverser le traditionnel rapport de dépendance entre mouvement

---

[370] Je reprends l'expression « audiotactile »de Vincenzo Caporaletti. Le musicologue italien emploie le terme à propos des styles musicaux qui fondent la genèse du texte musical dans l'action en temps réel du musicien. Contrairement à la tradition savante occidentale, les musiques audiotactiles sont souvent liées à l'improvisation et impliquent un rapport étroit entre écriture gestuelle et écriture sonore. De ce point de vue il y a des éléments en commun avec la réflexion de Gødoy sur la co-articulation des unités gestuelles et acoustiques que j'ai souligné dans le quatrième chapitre. Cf. Vincenzo CAPORALETTI, "La théorie de la musique audiotactile et ses relations avec l'improvisation dans la musique contemporaine" in *Filigrane*, Éditions Delatour, 8, 2008, p. 101-128.

[371] Cf. *supra*, p. 104-105.

dansé et musique. Comme il a été souvent affirmé par Robert Wechsler, ce bouleversement de perspective permet au danseur d'assumer, en quelque mesure, le rôle de musicien[372]. Du côté de la musique, l'emploi de capteurs de mouvement offre à l'interprète/*performeur* la possibilité de valoriser, sous forme sonore, la qualité expressive du geste. La captation du mouvement permet de rendre audibles tous ces mouvements qui ne sont pas directement impliqués dans l'excitation mécanique du corps résonant[373]. Grâce à la sonorisation de ces mouvements, le musicien peut faire un usage expressif de son corps en se rapprochant, quelque part, du danseur[374].

Le deuxième aspect est la réciprocité épistémologique. À travers l'utilisation des systèmes de captation il est possible de formaliser certains modèles analytiques issues de la danse et de l'employer dans le contexte musical. C'est par exemple le cas de l'application de la théorie de l'effort de Laban dans le cadre du mapping de haut niveau pour la performance musicale[375] ou comme outil d'analyse pour interpréter les réactions corporelles à la musique[376]. Au contraire, certains modèles pour la captation et l'analyse du geste musical peuvent être aisément utilisés pour analyser le mouvement en danse[377].

---

372 Robert WECHSLER, "Les ordinateurs et la danse: retour vers l'avenir?", *op. cit.*

373 Par exemple, les mouvements des coudes dans la pragmatique gestuelle du guitariste ne sont pas inféodés à la mise en vibration des cordes. Contrairement au mouvement des doigts, les mouvements des coudes sont des geste facilitant. On reviendra de manière plus détaillé sur la classifications des gestes musicaux dans les prochaines pages.

374 Federico Visi parle à ce propos de « emergent choreography » : Federico VISI et al., "Musical instruments, body movement, space, and motion data : music as an emergent multimodal choreography" in *Human Technology: An Interdisciplinary Journal on Humans in ICT Environments*, 13(1), 2017, p. 58-81.

375 Antonnio CAMURRI et al., "Multimodal analysis of expressive gesture in music and dance performances" in Antonio CAMURRI et Gualtiero VOLPE (dir.), *Gesture-based communication in human-computer interaction*, Berlin, Springer-Verlag, 2004, p. 20-39.

376 Pieter-Jan MAES et al., "The coupling of action and perception in musical meaning formation" in *Music Perception*, 32(1), 2014, p. 67–84.

377 Voir parmi d'autres Luis NAVEDA et Marc LEMAN, "The Spatiotemporal representation of dance and music gestures using topological gesture analysis (TGA)" in *Music Perception*, 28(1), 2010, p. 93–111.

Si cette convergence entre danse et musique reflète une conception multidisciplinaire de l'art qui a émergé déjà avec les avant-gardes des années 1960[378], l'utilisation des systèmes de captation du mouvement introduit une dimension de réciprocité micro-structurelle inédite. Comme je l'ai précisé en parlant de la notion de *transmédialité*, la numérisation de l'information permet de connecter les morphologies sonores et gestuelles dans des mécanismes d'interdépendance. Cela rend possible le transfert de modèles comportementaux d'un domaine à l'autre. Une conséquence remarquable du principe de transduction est le fait que des gestes très simples peuvent être utilisés pour contrôler des processus sonores complexes. Comme on l'a vu, les technologies interactives permettent, en effet, de générer et de modifier du son avec différents degrés de complexité et de participation corporelle. La production sonore n'est donc plus liée au geste instrumental. D'un point de vue philosophique, je propose alors de parler d'une *déterritorialisation du corps sonore*. Cela implique que le geste musical n'est plus une catégorie épistémologique spécifique au domaine musical. Traditionnellement on définit le geste musical selon trois typologies principales : les gestes effecteurs, les gestes accompagnateurs et les geste figuratifs[379]. Les premiers désignent le geste destiné uniquement à la production mécanique du son, les deuxièmes les mouvements qui accompagnement la production sonore, les troisièmes les gestes expressifs que ne sont pas finalisés à la génération du son mais qui participent à la construction de la sémantique musicale. Les technologies interactives bouleversent cette catégorisation en introduisant des modalités de contrôle du son alternatives qui ne peuvent pas être réduites à la pratique instrumentale. Il faudrait pourtant parler d'une subversion générale du geste musical par le geste sonore[380]. Un tel processus est régit par des phénomènes

---

[378] Je me réfère particulièrement au concept d'art "intermédia" élaboré par le groupe Fluxus pour décrire une série d'installations et de performances, souvent liées à la pratique du *happening*, issues de la convergence entre musique, arts du spectacle, arts visuels et médias technologiques. Cf. Steve DIXON, *op. cit.*, p. 87-103. Sur la relation entre notion d'intermédia, arts de la scène et technologies informatiques voir également Alain BONARDI et Francis ROUSSEAUX, "Interactions médiatisées sur scène" in *Technique et science informatiques*, Hermès Lavoisier. Vol. 29(8), 2010, p. 871-888.

[379] François DELALANDE, "Le Geste, outil d'analyse: quelques enseignements d'une recherche sur la gestique de Glenn Gould " in *Revue Analyse Musicale*, 10, 1988, p. 43-46. On reviendra dans les prochaines pages sur la classification du geste musical.

[380] De manière similaire, Alain Bonardi et Francis Rousseaux parlent de l'émergence des pratiques « a-musicologiques » en relation à l'interactivité technologique. Cf. Alain BONARDI et Francis ROUSSEAUX, "L'émergence de pratiques musicales a-musicologiques" in *Musiker Cuadernos de mùsica*, 2011, p. 99-115.

caractérisants : un mouvement *divergent* - déterritorialisation du geste musical dans des pratiques hétérogènes, comme la danse numérique, les installations interactives, le théâtre multimédia, etc.[381] - et un mouvement *convergent* - déterritorialisation de différentes strates du corps (mouvement, posture, qualité du geste, bio-signaux) dans des formes sonores. Nous avons déjà rencontré la notion de déterritorialisation en parlant de reconfiguration de l'anatomie corporelle par le biais de la médiation technologique. Les mouvements de convergence et de divergence opèrent d'une manière tout à fait similaire en produisant une diffraction du geste musical en différentes unités sémiotiques (geste-musical-dansé, geste-dramatique-sonore, etc.) et une transduction de l'activité physique du corps sous forme audible. De plus, l'interactivité sonore implique aussi une déterritorialisation de l'interface. Comme on l'a vu, l'interface désigne le point de contact idéal entre le geste en entrée et le *feedback* en sortie. Par cela, j'ai proposé de définir l'interface non pas en termes exclusivement technologiques mais à partir d'une perspective écologique, c'est-à-dire à partir de la relation épistémologique qui se développe entre l'*interacteur* et l'environnement. Cela implique une référence constante au processus d'incorporation induit par la rétroaction sensorielle. En partant de ce modèle il est alors possible d'analyser les différents degrés de déterritorialisation du corps sonore selon le niveau de reconfiguration de l'anatomie corporelle. Je propose donc une classification du corps sonore comme interface à partir de quatre macro-typologies : l'hyperinstrument, le méta-instrument, le corps-instrument et l'espace sentant. L'intérêt d'une telle classification ne réside pas dans la construction d'une organologie des instruments pour la musique électronique[382]. Le but est plutôt celui d'évaluer comment certains systèmes pour l'interaction sonore produisent une organisation perceptive du mouvement différente en impliquant ainsi un processus de reconfiguration spécifique. En ce sens, il faut entendre ces quatre typologies non pas simplement comme une taxonomie des dispositifs, mais plutôt comme différents

---

[381] À ce propos, Annes Sèdes et Felipe Castellani, observent également un passage du « musical » vers « l'intermedialité » dans les œuvres de certains compositeurs contemporaines comme George Aperghis et Thierry de Mey. Felipe M. CASTELLANI et Annes SÈDES "Extension du musical vers l'intermédialité : analyses des approches de Thierry de Mey et de Georges Aperghis" in *Actes des Journées d'Informatique Musicale*, Saint Denis, Université Paris 8, 2013, URL : http://www.mshparisnord.fr/JIM2013/actes/jim2013_13.pdf Consulté le 20/08/2017. En ce qui concerne notre cadre d'analyse il faut citer au moins *Light Music* (2004) de Thierry De Mey et *Luna Park* (2011) de George Aperghis.

[382] À ce propos je renvoie encore une fois à l'excellent ouvrage de Miranda et Wanderley. Voir en particulier le chapitre intitulé "Gestural Controllers" : Eduardo R. MIRANDA et Marcelo M. WANDERLEY, *op. cit.*, p. 19-102.

« modes d'existence » de l'interface[383].

5.2.1 Hyperinstruments

Le terme *hyperinstrument* a été utilisé pour la première fois par Tod Machover pour définir "l'expansion" des instruments de musique traditionnels par le biais de capteurs appliqués directement sur le corps de l'instrument ou du *performeur*[384]. Au delà des différents typologies "d'instruments augmentés", la notion de "hyperinstrument" peut être considéré comme un paradigme général désignant un ensemble de techniques numériques dont la finalité est d'« étendre » le potentiel expressif d'un interprète virtuose en amplifiant ses gestes musicaux ou en entendant électroniquement les modes de jeu traditionnels. Le modèle d'interface sous-jacente reste un modèle instrumental : certains aspects de la performance d'un musicien sont captés, ces mesures sont analysées par un système informatique qui les transforme en paramètres pour le contrôle en temps réel du traitement sonore. Les informations captées peuvent provenir de données audio (par exemple l'analyse de la fréquence d'un son) ainsi que du mouvement de l'interprète[385]. En partant de l'analyse et de la modélisation des techniques instrumentales, le *performeur* devient pourtant capable de contrôler le traitement numérique du son en temps réel en enrichissant remarquablement sa palette expressive. À la suite de la création de l'*hypercello* de Machover, un nombre remarquables de recherches se sont intéressées aux possibilités d'extension des instruments à cordes. À ce propos il faut citer, parmi d'autres, l'*hyperbow* de Diana Young, un système inspiré à celui de Machover mais qui améliore la captation de l'archet en mesurant la distance entre celui-ci et le pont de l'instrument à cordes

---

[383] Je me réfère ici à la notion de « mode d'existence » développé par Simondon afin de définir la co-naissance réciproque entre objets techniques et environnement humain. Ce principe déplace l'attention de l'architecture technologique du dispositif aux interactions entre le média, l'*interacteur* et le milieu. Par cela le concept de « mode d'existence » rejoint aussi la définition de médiologie de Régis Debray. Cf. Gilbert SIMONDON, *Du mode d'existence des objets techniques* [1958], Paris, Aubier, 2001.

[384] Cf. Tod MACHOVER, *Hyperinstruments. A progress report 1987-1991*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 1992.

[385] Dans le cas de l'*hypercello*, crée par Tod Machover, le système interactif se basait sur la mesure des paramètres principalement gestuels comme l'angle de rotation du poignet, la pression exercée sur les cordes et la position de l'archet. De plus le système était capable d'interpréter certains styles d'exécution.

aussi bien que l'effort exercé à travers l'archet et le changement d'accélération[386]. D'autres projets similaires ont vu le jour : l'*hypercello* de Frances-Marie Uitti, équipé avec un système de capteurs développé d'abord au STEIM de Amsterdam et puis au CNMAT de Berkeley[387], et le "quatuor à cordes augmenté" développé pendant plusieurs années de recherche à l'IRCAM de Paris par l'équipe de Frédéric Bevilacqua[388]. Ce projet, qui utilise des techniques de captation assez communes (accéléromètre et gyroscope pour analyser le geste et capteur d'effort pour mesurer la pression exercée sur les cordes), a la particularité d'exploiter le système de poursuite de geste *motion follower* dont nous avons parlé dans le chapitre précédent. Pour cette raison, le cœur de l'interaction se base sur la reconnaissance de certaines techniques d'exécution et de certains modes de jeu préalablement analysés et modélisés. Dans les années récentes, d'autres expérimentations ont été conduites sur différents instruments de musique. Parmi celle-ci, il faut au moins citer la réalisation de systèmes de captation adaptés aux techniques de jeu du piano, comme dans le cas de Sarah Nicolls[389], ou la

---

386 Diane YOUNG, "The Hyperbow Controller: Real-Time Dynamics Measurement of Violin Performance" in *Proceedings of the International Conference on New interfaces for Musical Expression (NIME '02)*, Dublin, Ireland, 2002; Diane YOUNG, Patrick NUNN et Artem VASSILIEV, "Composing for Hyperbow: A Collaboration Between MIT and the Royal Academy of Music" in *Proceedings of the International Conference on New interfaces for Musical Expression (NIME '06)*, Paris, France, 2006, p. 396-401.

387 La version réalisé au CNMAT est un violoncelle à six cordes équipé de capteurs de résistances et piézoélectriques : cf. Adrian FREED et al., "Augmenting the cello" in *Proceedings of the International Conference on New interfaces for Musical Expression (NIME '06)*, Paris, France, 2006, p. 409-413.

388 Frédéric BEVILACQUA, Florence BASCHET et Serge LEMOUTON, "The augmented string quartet : experiments and gesture following", in *Journal of New Music Research*, 41(1), 2012, p. 103-119.

389 Sarah NICOLLS, "Seeking Out the Spaces Between: Using Improvisation in Collaborative Composition with Interactive Technology" in *Leonardo Music Journal*, MIT Press, 2010, p. 47-55. Voir également les expérimentations collaboratives présentées dans Zubin KANGA, "Building an instrument in the collaborative composition and performance of works for piano and live electronics" in Robert BURKE and Andrys OSMAN (dir.), *Perspectives on Artistic Research in Music*, Lanham (Maryland), Lexington Books, 2017, p. 103-118.

création de l'*hyperflûte* par Cléo Palacio-Quintin[390]. D'autres recherches ont intéressé également l'expansion d'instruments à connotation extra-européenne[391].

Du point de vue phénoménologique, le paradigme de l'hyperinstrument propose un mode d'existence de l'interface lié à la pratique instrumentale. Il s'agit, pour l'interprète, d'apprendre de nouveaux paramètres de contrôle en entrainant ses capacités sensori-motrices et cognitives. Cela peut impliquer des nouvelles techniques de jeu ou, dans certains cas, l'approfondissement de modalités gestuelles déjà connues. Une fois apprises les potentialités expressives du nouvel instrument, l'interface devient finalement transparente. Le processus d'incorporation de l'interface numérique est donc tout à fait similaire à celle de l'instrument acoustique. La particularité du paradigme de l'hyperinstrument est la présence de trois corps résonants simultanément : le corps du *performeur*, le corps de l'instrument et le corps de synthèse de l'instrument virtuel. L'interprète joue en interaction entre ces trois corps. L'instrument représente une première forme de médiation à laquelle on ajoute la médiation numérique de la captation. La pratique avec "l'augmentation" numérique permet de transformer les *feedbacks* audionumériques en une extension du geste musical. Évidemment il s'agit du degré inférieur de déterritorialisation du corps sonore. Néanmoins cela peut varier en fonction de diverses règles de mapping employées. Des techniques de poursuite du geste, par exemple, ne demandent pas au *performeur* d'explorer d'autres gestuelles en dehors de sa pratique interprétative. Par contre, les hyperinstruments peuvent impliquer, selon les cas, une forme de reconfiguration tout à fait

---

[390] Parmi les hyperinstruments développés dans les vingt dernières années, l'hyperflûte mérite une mention particulière non seulement pour le système de captation assez sophistiqué mais aussi pour le travail d'expérimentation de nouvelles techniques d'exécution. Voir à ce propos Cléo PALACIO-QUINTIN, "Eight Years of Practice on the Hyper-Flute: Technological and Musical Perspectives" in *Proceedings of the International Conference on New interfaces for Musical Expression (NIME '08)*, Genoa, Italy, 2008, p. 293-298.

[391] Diana YOUNG et Georg ESSL, "HyperPuja: A Tibetan Singing Bowl Controller" in *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME '03)*, Montréal, Canada, 2003, p. 9-14; Sam FERGUSON, "Hyper-shaku (Border-Crossing): towards the multi-modal gesture-controlled hyper-instrument" in *Proceedings of the International Conference on New interfaces for Musical Expression (NIME '06)*, Paris, France, p. 352-357; Ajay KAPUR et al., "Integrating hyperinstruments, musical robots & machine musicianship for North Indian classical music" in *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME '07)*, New York, USA, 2007, p. 238-241

spécifique et qui n'est pas présente dans les autre typologies. Souvent les contrôles "augmentés" (imaginons par exemple le degré de rotation du poignet dans la technique de jeu du violoniste) permettent de traiter électroniquement le son produit acoustiquement. Cette dynamique introduit une forme de réflexivité absolument inédite pour l'interprète. Les *feedbacks* sonores se manifestent ici sur plusieurs niveaux : un niveau direct, qui est le résultat de l'excitation mécanique de l'instrument, et un niveau "invisible" (mais audible) qui est le traitement électronique. Cette multiplicité des niveaux de *feedback* introduit une prise de conscience, même partielle, des processus de virtualisation qui alimentent la composition du geste[392]. À ce propos, un autre élément intéressant réside dans l'amplification de certains éléments secondaires impliqués dans la production sonore. Dans le cas de *Synesthesia 4 : Chlorophylle* (2011) de Cléo Palacio-Quintin, certains éléments comme le degré d'inclinaison de la flûte sont captés et utilisés comme paramètres de contrôle d'un algorithme de synthèse granulaire qui transforme le son acoustique émis par la flûte. La compositrice et interprète souligne que la sonorisation des gestes "ancillaires", implique une reconfiguration générale de la relation entre le corps de l'interprète et le corps de l'instrument[393]. Ici la rétroaction sensorielle du *feedback* assume une fonction proactive. Cela implique que des gestes qui normalement ont une importance secondaire deviennent significatifs en termes d'organisation perceptive du mouvement. Cette nouvelle articulation du rapport geste-son impose pourtant au *performeur* une hiérarchisation inédite de l'anatomie corporelle impliquant non seulement une extension de la palette expressive mais aussi une intensification sensorielle du mouvement.

5.2.2 Méta-instruments

L'expression « méta-instrument » a été forgée par Serge de Laubier et Rémy Dury vers la fin des années 1980 pour décrire la création d'un instrument complètement audionumérique dont le design est conçu de manière indépendante par rapport aux instruments de musique traditionnels. La première version du Méta-

---

[392] Nous avons d'ailleurs fait référence à cette multiplicité introduite par l'interface numérique en parlant de la notion de *apparatus* proposé Katja Kwastek : infra

[393] Cf. Cléo PALACIO-QUINTIN, "Composition interactive : du geste instrumental au contrôle de l'électronique dans Synesthesia 4 : Chlorophylle" in *Circuit : musiques contemporaines*, 22(1), 2012, p. 25-40.

Instrument (1989-1994) consistait en une prothèse adaptée principalement aux membres supérieurs du corps à utiliser en position assise. L'instrument permettait de capter le mouvement tridimensionnel des membres à partir de 32 degrés de liberté correspondant à autant paramètres de contrôle continu[394]. La troisième génération du Méta-Instrument (2004) a été améliorée en termes de qualité de captation et de nombre de capteurs analogiques (cinquante-quatre). Cette version, basée sur une architecture modulaire, exploite en outre la transmission de données sans fils en permettant ainsi de jouer l'instrument en position debout, même si la captation intéresse toujours les coudes, les poignets et les doigts[395]. Le méta-instrument représente, au sein de notre analyse, un paradigme conceptuel proposant un mode d'existence de l'interface qui dépasse le modèle purement instrumental. Cette typologie comprend un ensemble très hétérogène de dispositifs qui vont des interfaces rassemblant aux instruments acoustiques à des dispositifs gestuels inusuels impliquant une forme d'interaction haptique[396]. Si dans le cas de l'hyperinstrument l'interaction se déroule entre trois types de corps résonant (*performeur*, instrument acoustique, instrument virtuel), avec le méta-instrument il y en a deux puisque le corps physique de l'interface coïncide idéalement avec le corps audionumérique. Un élément commun à tous les méta-instruments est la présence d'un médiateur physique impliquant une interaction gestuelle. Le contact n'est pas un paramètre discriminant. On peut avoir des méta-instruments qui se basent sur des formes d'interaction gestuelle sans contact[397]. La diversité des modèles et des prototypes d'interfaces méta-instrumentales réalisés du début des années 1990 jusqu'à aujourd'hui indique une très grande variété en termes de possibilités d'interaction. En règle général, l'ergonomie et la rétroactivité sensorielle de chaque méta-instrument déterminent un ensemble de possibilités corporelles spécifiques. Néanmoins on peut remarquer que la plupart des méta-instruments se

---

[394] Serge DE LAUBIER, "The meta-instrument" in *Computer Music Journal*, MIT Press, 22(1), 1998, p. 25-29.

[395] Serge DE LAUBIER et Vincent GOUDARD, "Meta-Instrument 3: a look over 17 years of practice" in *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME '06)*, Paris, France, 2006, p. 288-291.

[396] La perception haptique se base sur l'interaction entre informations tactiles et informations proprioceptives concernant la position de l'objet par rapport au corps de l'*interacteur*.

[397] Pensons par exemple au *Theremin* dont l'interaction gestuelle se base sur la modulation du champ magnétique à travers le mouvement des mains sans impliquer pourtant un contact physique avec une surface. De ce point de vue le *Theremin* peut être considéré, à juste titre, comme le père de tout méta-instrument.

caractérisent (de la même manière que pour les instruments conventionnels) par l'implication de la partie supérieure du corps et des mains en particulier. Le potentiel de reconfiguration corporelle induit par le méta-instrument peut être mesuré par rapport à la ressemblance entre celui-ci et les instruments conventionnels, tantôt en termes de design tantôt en termes des techniques de jeu que de *feedbacks* sensoriels.

Parmi les interfaces "inspirées" par instruments de musique nous pouvons citer par exemple le *Radio-Baton* ou *Radiodrum* du pionnier Max Mathews, un dispositif composé de deux baguettes (équipées avec de radio-émetteurs) et d'une surface, celle-ci contenant une antenne réceptrice et un processeur capable de transformer les informations tridimensionnelles (x,y,z) en données MIDI. Le système, exploitant la variation capacitive d'un champ magnétique, permet de calculer la distance des baguettes à la surface ainsi que de déclencher des événements discrets[398]. Le *Radio-Baton* ou d'autres dispositifs de ce genre[399], représentent donc des interfaces hybrides qui gardent des éléments liés à la pratique instrumentale mais qui en même en temps s'en éloignent en introduisant des formes de contrôle inédites. Certains éléments comme la dynamique du geste percussif ou l'allure rythmique se relient par exemple au geste du batteur. D'autres comme la distance à la surface ou les rotations de la baguette ajoutent une gestuelle spécifique permettant la modulation continue des sons.

À l'extrême opposé, nous avons des interfaces qui ne se réfèrent pas à des techniques musicales ou à des modèles d'instruments préalables. Ces interfaces peuvent être conçues soit à partir de qualités haptiques d'un média physique (qualité dynamiques, tactiles, etc.) soit sur la base des possibilités d'articulation du corps humain. Dans le premier cas, les interactions sont développées en fonction de l'ergonomie du

---

[398] Max V. MATHEWS, "The Radio Baton and Conductor Program, or: Pitch, the Most Important and Least Expressive Part of Music" in *Computer Music Journal*, MIT Press,15(4), 1991, p. 37-46.

[399] Voir parmi d'autres le *Digital Baton* développé au MIT Media Lab ou le *Buchla Lightning II* de Don Buchla : Joseph A. PARADISO et Teresa MARRIN, "The Digital Baton: a Versatile Performance Instrument" in *International Computer Music Conference (ICMC '97)*, 1997, Thessaloniki, Greece, p. 313-316; Carlos CERANA, "Gesture control of musical processes: a MAX environment for Buchla's Lightning" in *Organised Sound*, Cambridge University Press, 5(1), 2000, p. 3-7.

dispositif, dans le deuxième en fonction de l'ergonomie du corps humain[400]. Les dispositifs les plus communs du premier type s'inspirent souvent du modèle de l'écran tactile[401] et font partie des interfaces dites haptiques[402]. Celle-ci se basent sur des interactions gestuelles simples exploitant des paramètres linéaires comme la position bidimmensionnelle (x,y) des doigts sur l'écran, la distance et la pression exercée sur la surface ou sur l'utilisation des contrôles communs comme les potentiomètres et les boutons[403]. Une programmation sophistiquée peut néanmoins permettre des interactions assez complexes de haut niveau comme dans le cas du *reacTable* de Sergi Jordà[404]. D'autres interfaces on été créées en utilisant comme base

---

[400] Cette division reflète, d'ailleurs, la distinction qu'on trouve dans le domaine de l'interaction homme-machine entre « system-centered computing » et « human-centered computing ». Néanmoins, il convient de noter que cette distinction semble être de plus en plus fluide : cf. Alejandro JAIMES et al., "Human Centered Computing : Toward a Human Revolution" in *IEEE Computer Society*, 40(5), 2007, p. 30-34.

[401] Voir par exemple l'écran interactif développé par l'équipe de Joe Paradiso dans les laboratoires du MIT : Joseph A. PARADISO et al., "Passive Acoustic Sensing for Tracking Knocks Atop Large Interactive Displays" in *Proceedings of the IEEE Sensors Conference*, Orlando (Florida), 2002, p. 521-527. Aujourd'hui ces dispositifs ont connu un certain succès commercial. Parmi ceux-ci on peut citer des interfaces comme le *Kaos Pad* produit par KORG ou les instruments virtuels produits par *Lemur* https://liine.net/en/products/lemur/ Consulté le 25/07/2017.

[402] Il y a deux typologies principales d'interfaces haptiques : les interfaces tactiles qui utilisent comme paramètres de contrôle la position des doigts et le contact, et les interfaces "*force feedback*" qui exploitent la pression exercée sur la surface de contrôle. Sur cette deuxième typologie voir par exemple les « transducteurs gestuels rétroactifs » (TGR) développées au sein du laboratoire ACROE-ICA de Grenoble : cf. Claude CADOZ et al., "ACROE - ICA: artistic creation and computer interactive multisensory simulation force feedback gesture transducers" in *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME '03)*, Montreal, Canada, 2003, p. 235 - 246.

[403] La diffusion à grand échelle de technologies de physical computing permet désormais d'utiliser des dispositifs communs comme tablettes ou smartphones comme interfaces tactiles pour la création et la composition sonore en temps réel : cf. Hervé ZÉNOUDA, "Nouvelles organologies du sonore : les audio-games" in Thierry GOBERT (dir.), *Interfaces numériques. Convivialité et dispositifs. De l'ordinateur à l'ordiphone et la tablette*, 1(3), Éditions design numérique, 2012, p. 521-545.

[404] Sergi JORDÀ, "Sonigraphical instruments: from FMOL to the reacTable" in *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME '03)*, Montreal, Canada, 2003, p. 70–76.

des objets quotidiens équipés avec des capteurs. Voir par exemple le *Tag System*[405] réalisé au MIT ou le projet *MO*[406] développé à l'IRCAM. Dans les deux cas il s'agit de systèmes modulaires se composant d'unités indépendantes et miniaturisées que l'on peut appliquer sur n'importe quelle surface. Un cas particulier est par exemple l'emploi des objets issus des pratiques du sport. Ces projets sont très intéressants parce qu'il se basent sur une pragmatique gestuelle déjà existante qui n'appartient pas au domaine du geste musical[407]. En termes de déterritorialisation convergente, ces interfaces permettent d'introduire des gestuelles issues du sport dans le processus de génération sonore. En termes de déterritorialisation divergente, elles peuvent être utilisées pour produire des rétroactions sensorielles dans la pratique sportive. Au-delà de ces cas particuliers, diverses interfaces haptiques exploitent une conception hybride intégrant, tantôt dans le design que dans la programmation, des éléments issus des instruments acoustiques, des objets quotidiens et de l'ergonomie corporelle. Des projets assez innovants ont été développés dans les dernières années au sein du CIRMMT (Centre for Interdisciplinary Research in Music Media and Technology) de l'Université McGill de Montréal[408].

Une autre option majeure dans le développement de méta-instruments consiste à adapter la conception du dispositif à l'ergonomie du mouvement. Ces interfaces sont souvent catégorisées comme « *free-space*

---

[405] Joseph A. PARADISO et al., "Electromagnetic Tagging for Electronic Music Interfaces" in *Journal of New Music Research*, 32(4), 2003, p. 395–409.

[406] Nicolas RASAMIMANANA et al., "Modular musical objects towards embodied control of digital music" In *Fifth International Conference on Tangible in Embedded and Embodied Interaction*, Funchal, Portugal, 2011, p. 9-12.

[407] De nombreux projets ont été développés récemment à l'Ircam : Grace LESLIE et al., "Grainstick: a Collaborative, Interactive Sound Installation" in *Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC '10)*, New York, 2010; Nicolas RASAMIMANANA et al., "The Urban Musical Game: Using Sport Balls as Musical Interfaces" in *CHI '12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, Austin (Texas), USA, 2012, p. 1027-1030; Eric BOYER et al., "Low-cost motion sensing of table tennis players for real time feedback" in *International Journal of Table Tennis Sciences*, 8, 2013, p.1-4.

[408] Cf. Joseph MALLOCH et al., "Input Devices and Music Interaction" in Jorge SOLIS et Kia NG (dir.), *op. cit.*, p. 67-83.

gesture controller »[409] ou comme « *partial immersive controller* »[410] dans la mesure où il s'agit de dispositifs permettant une certaine liberté de mouvement au *performeur*. Martin Laliberté parle également d'« instruments invisibles »[411]. Le père d'une telle conception est sans doute Michel Waisvisz. À partir des années 1980, Waisvisz commence à travailler sur des interfaces gestuelles inspirées du modèle des « gants numériques » ou « gants de données » [*data gloves*] employés pour la réalité virtuelle[412]. En 1984 il présente "*The Hands*" (1984-1989) une interface composée de deux gants, développé au STEIM, capables de contrôler via midi des synthétiseurs externes[413]. Les gants étaient basés sur un sytème de capteurs assez sophistiqué permettant de détecter le mouvement des doigts et des mains sans pourtant contraindre le reste du corps[414]. Le système, développé pendant plusieurs années jusqu'en 2005, exploitait l'utilisation des touches (une pour chaque doigt) et des capteurs détectant la dynamique du geste (position, inclinaison, orientation) afin de piloter des événements sonores plus ou moins complexes avec différentes modalités de contrôle (*triggers*, modulations continues, changements de configuration par le biais d'interrupteurs)[415]. Dans la pratique performative de Waisvisz l'ergonomie de l'interface joue un rôle remarquable. Entièrement basée sur le mouvement des mains, l'interface permet en effet de repenser la présence expressive du corps

---

[409] Atau TANAKA, "Sensor-based musical instruments and interactive music" in Roger T. DEAN (dir.), *The Oxford Handbook of Computer Music*, New York, Oxford University Press, 2009, p. 246-247.

[410] Eduardo R. MIRANDA et Marcelo M. WANDERLEY, *op. cit.*, p. 43.

[411] Martin LALIBERTÉ, "Archétypes et paradoxes des nouveaux instruments" in *Le Nouveaux Gestes de la Musique*, Marseille, Parenthèses, 1999, p. 121-138. Il convient de noter que dans cette catégorie l'auteur regroupe les méta-instruments aussi bien que les interfaces corps-instrument dont je vais parler dans le prochain paragraphe.

[412] Cf. Prashan PREMARATNE, *Human Computer Interaction Using Hand Gestures*, Singapore, Springer-Verlag, 2014, p. 1-29.

[413] Déjà dans les années 1970, Waisvisz commençait à développer des instruments initialement basés sur le *circuit bending* lui permettant une interaction directe et physique avec le son électronique. C'est avec *The hands* qu'il commence à exploiter les possibilités offertes par le protocole MIDI (1983) et puis celles offertes par les ordinateurs : cf. Joel RYAN, "Some remarks on musical instrument design at STEIM" in *Contemporary Music Review*, 6(1), 1991, p. 3-17.

[414] Michel WAISVISZ, "The Hands: A Set of Remote MIDI-Controllers" in *Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC '85)*, San Francisco, International Computer Music Association, p. 313–318.

[415] Giuseppe TORRE, Kristina ANDERSEN et FranK BALDÉ, "The Hands: The Making of a Digital Musical Instrument" in *Computer Music Journal*, MIT Press, 40(2), 2016, p. 22–34.

en fonction des variations minimales du geste. Le fait que des mouvements assez fins peuvent créer des matières sonores extrêmement riches produit ce que j'ai appelé une "intensification" sensorielle de la corporéité. Dans les performances de Waisvisz, l'amplification sonore des mouvements minimaux des mains devient en effet la base pour une dramatisation radicale du corps-en-scène. Certains éléments typiques des interprétations de Waisvisz comme les expressions faciales, la posture ou la théâtralité des mouvements des avant-bras amplifient et transfigurent l'intensification corporelle du son. D'autres artistes, comme Laetitia Sonami, ont orienté leur recherche sur l'exemple de Waisvisz[416]. Les performances de l'artiste française se caractérisaient en effet par une très grande intensité interprétative incorporant des éléments narratifs et dramatiques[417]. Ici la relation son-mouvement se balance entre la recherche d'une cohérence musicale, la fonction communicative du geste et la potentialité narrative du son.

Comme on le voit, la nature ouverte du méta-instrument permet de construire un langage sonore en résonance avec des pragmatiques corporelles hétérogènes. Nous pouvons catégoriser au moins trois niveaux d'intensité de déterritorialisation selon la sous-typologie du méta-instrument. Tout autre typologie peut être considérée comme une combinaison de ces éléments principaux. 1. Les interfaces inspirées aux instruments acoustiques. Ici le geste musical se différencie et se stratifie au fur et à mesure que les modalités d'acquisition de données corporelles nouvelles sont introduites. 2. Les interfaces-objets. Ne présentant pas de lien direct avec une technique musicale, ces instruments induisent une adaptation de la posture corporelle et de l'interaction sonore en fonction de l'ergonomie du dispositif. Cela implique une re-modulation de l'anatomie corporelle en rapport avec les contraintes explicites de l'objet ou du matériel. Le *feedback* sonore a la fonction d'orienter cette adaptation du corps à la prothèse par le biais de la rétroaction

---

[416] Tout comme Waisvisz, Sonami a développé des "gants interactifs" (*Lady's Glove*) équipés de capteurs de pression, d'accélération, de flexion et d'ultrasons capables de transmettre la distance entre les mains et le corps, et entre les mains et le sol, ainsi que d'enregistrer le mouvement des doigts. Ces données sont élaborées par des patches réalisées en MaxMsp/Jitter qui lui permettent de contrôler en temps réels des médias sonores et visuels. Pour une description détaillée voir : http://sonami.net/ladys-glove/ Consulté le 09/08/2017.

[417] Cf. Tara RODGERS, *Pink Noises. Women on Electronic Music and Sound*, Durham (North Carolina), Duke University Press, 2010, p. 226-234.

sensorielle. 3. Dans le cas des interfaces *semi-immersives* comme *The Hands* ou le *Lady's Glove*, la contrainte matérielle est minimale. Cela permet d'exploiter une certaine liberté expressive du corps. L'ergonomie du dispositif permet d'incorporer la rétroaction sensorielle dans la dramatisation du mouvement en ouvrant à des sémantiques hétérogènes (théâtrales, narratives, etc.). Ces genres d'interface représentent une forme de transitions entre le paradigme du méta-instrument et le paradigme du corps-instrument. Deux éléments différencient, d'ailleurs, les deux modèles. D'une part, l'interaction sonore en temps réel des interfaces *semi-immersives* est centrée exclusivement sur la manipulation en non pas sur le mouvement du corps entier; de l'autre, dans le interfaces *semi-immersives*, il y a un degré résiduel d'opacité de l'interface. Au contraire dans le mode du corps-instruments cette médiation tend à disparaître.

5.2.3 Corps-instrument

La typologie du corps-instrument ne se relie pas à un ensemble spécifique de technologies. Cette expression se réfère plutôt à un mode d'existence particulier de l'interface ainsi qu'à une certaine manière de concevoir la fonction de la rétroaction sensorielle de la part du *performeur*. Si avec les méta-instruments il y a deux corps résonants qui entrent en relation, avec le corps instrument nous avons une adhérence parfaite entre le corps du *performeur*, le corps de l'interface et le corps audionumérique. Les trois composent un corps sonore stratifié et multiple qui évoque la transparence idéale de l'interface. Du point de vue du *performeur*, le corps est perçu comme source primaire de la production sonore. Il s'agit donc d'imaginer des formes de contrôle et de génération de la musique qui ne sont soumises à aucune contrainte de fonctionnement physique sauf l'ergonomie du corps et la pragmatique expressive du geste. L'utilisation de la captation du mouvement en danse incarne, au moins idéalement, ce paradigme. Ce n'est pas par hasard qu'avant même l'avènement du numérique, certaines expérimentations en danse ont exploré un tel

paradigme, par exemple dans le cas de *Variation V* de Merce Cunningham[418]. Bien que la raison première de cette pièce ne résidait pas dans l'exploitation de la synchronisation entre geste et musique, elle témoigne néanmoins d'un intérêt croissant vers une utilisation interactive du *feedback* sonore[419]. Avec la diffusion massive des systèmes informatiques pendant les années 1990 la possibilité de contrôler, de générer et de modifier des contenus sonores ou visuels en temps réel se généralise. Des performances multimédias de la compagnie Troika Ranch et du Palindrome Intermedia Performance Group aux environnements virtuels de Yacov Shavir, des systèmes audiovisuels réactifs de Klaus Obermaier aux installations participatives de Sarah Rubidge, l'emploi de *feedbacks* sonores et visuels devient un élément clé pour transfigurer, redessiner et repenser l'anatomie corporelle du *performeur* et sa relation avec l'espace[420]. C'est dans ce cadre qu'on

---

[418] *Variation V* (1967) peut être considérée une "œuvre-manifeste" de l'art intermédia. La pièce exploitait un dispositif très rudimentaire capable de faire interagir le mouvement d'un danseur avec la musique. Il s'agissait d'un système, inventé par Billy Klüver, composé de plusieurs antennes et de cellules photoélectriques réagissant en direct aux mouvements des danseurs, ouvrant ou fermant les circuits sonores. Les bandes-son étaient ensuite traitées en temps réel par John Cage et David Tudor, tandis que des vidéos, créées par Nam Jum Paik et Stan Van der Beek, étaient projetées sur la scène et sur des écrans. Cf. Gordon MUMMA, *Cybersonic Arts: Adventures in American New Music*, Champaign (Illinois), University of Illinois Press, 2015, p. 170-176.

[419] Le premier système permettant la synchronisation entre danse et musique est probablement le *DIMI-O* créé en 1971 par le compositeur finlandais Erkki Kurenniemi. Entre les années 1960 et les années 1970 l'artiste et scientifique invente un certain nombre d'instruments électroniques dont le plus célèbre reste le DIMI-O. Il s'agissait d'un orgue électrique basé sur un *step sequencer* de 32 notes. Il était composé d'un clavier et d'un écran interactif sur lequel il était possible écrire des notes avec une durée et un tempo précis. La particularité de l'instrument résidait en un système de captation optique permettant l'interaction entre mouvement et son. L'image de l'interprète, détecté par la camera, étais codée et utilisée comme signal de contrôle de l'hauteur des notes. Kurenniemi avait envisagé trois usages principaux de ce dispositif : a. Instrument de musique; b. Interface graphique pour la composition; c. système d'interaction avec la danse. Cf. Mikko OJANEM, "Design Principles and User Interfaces of Erkki Kurenniemi's Electronic Musical Instruments of the 1960's and 1970's" in *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME '07)*, New York, USA, 2007, p. 88-93.

[420] Pour une introduction historique à l'utilisation des nouvelles technologies en danse je renvoie à Olympe JAFFRÉ, *Danse et nouvelles technologies : enjeux d'une rencontre*, Paris, L'Harmattan, 2007. Sur l'utilisation des technologies interactives en particulier voir également Johannes BIRRINGER, "Dance and Interactivity" in *Dance Research Journal*, 35/36(1-2), 2004, p. 88-112.

commence à parler de danse numérique ou interactive[421]

Entre les années 1990 et le début des années 2000, un nombre remarquable de systèmes pour l'interaction en temps réel entre danse et musique se sont développés. J'ai déjà cité les systèmes pour la captation optique du mouvement comme le *EyesWeb* ou le *EyeCon*. D'autres interfaces, ont été développées dans la même période en exploitant des systèmes de captation différents. Parmi ceux-ci il faut citer le *MIDIDancer*, un costume équipé de capteurs de flexion développé par Mark Coniglio au sein de la compagnie Troika Ranch[422], le *Yamaha's Miburi System* un costume magnétique utilisant des capteurs de déplacement capacitifs, employé, entre autres, par le compositeur et *performeur* Vickery Lindsay[423], le *DanceSpace*, un système d'interaction audiovisuelle basé sur la captation optique créé par Flavia Sparacino[424], le *Intelligent Stage*, un environnement interactif développé à la Arizona State University, créé en équipant une scène avec un système de capteurs[425] et le système modulaire *Sensemble*, développé au

---

[421] Le terme "danse numérique" vient des expressions anglaises "*digital dance*" et "*digital interactive dance*" utilisées pour définir, dans le premier cas, les créations de danse exploitant des médias numériques, dans le deuxième les créations utilisant de manière prédominante des dispositifs interactifs. Voir à ce propos Wayne SIEGEL "Dancing the Music: Interactive Dance and Music" in Roger T. DEAN (dir.), *op. cit.*, p. 191-213 ainsi que le chapitre "Digital Dancing and Software Developments" in Steve DIXON, op. cit., p. 184-208. Une autre expression utilisée dans la littérature francophone est "danse augmentée". Le terme peut être considéré comme équivalent à l'expression "*digital interactive danse*" : cf. Sarah F. ALAOUI, *Analyse du geste dansé et retours visuels par modèles physiques : apport des qualités de mouvement à l'interaction*, Thèse de Doctorat en Informatique, Université de Paris Sud/Ircam, Paris, 2012.

[422] Cf. *supra*, p. 148.

[423] Vickery LINDSAY, "The Yamaha Miburi MIDI jump suit as a controller for STEIM's Interactive Video software Image/ine" in *Proceedings of the Australian Computer Music Conference (ACMA '02)*, Melborne, Australia, 2002, p. 181-188.

[424] Flavia SPARACINO, Glorianna DAVENPORT et Alex PENTLAND, "Media in performance : Interactive spaces for dance, theater, circus, and museum exhibits" in *IBM Systems Journal*, 39(3-4), 2000, p. 479-510.

[425] Johannes BIRRINGER, "Dance and Media Technologies" in *PAJ: A Journal of Performance and Art*, 24(1), MIT Press, 2002, p. 84-93

MIT Media Lab par Joe Paradiso et Ryan Aylward, conçu pour capter plusieurs danseurs au même temps[426]. Comme on le voit, le paradigme du corps-instrument ne définit donc pas un ensemble spécifique de techniques. Le caractère commun à tous ces dispositifs est de permettre l'interaction avec le son sans l'utilisation d'un corps-médiateur externe. En d'autres termes, il faut que l'interface ne représente pas une contrainte physique pour le mouvement : elle doit disparaître afin de favoriser une adhérence totale entre le corps du *performeur* et le corps du son.

Comme on l'a vu dans le chapitre précédent, un tel principe est à la base de la recherche artistique de Robert Wechsler et de la compagnie Palindrome. L'interaction avec la musique est sans doute un des éléments caractérisant le collectif. Selon Robert Wechsler la médiation technologique peut bouleverser le rapport de dépendance entre mouvement chorégraphique et musique. Cependant, pour Wechsler il ne s'agit pas d'un simple renversement de perspective. L'interactivité numérique apporte ici une nouvelle relation, émergent, entre geste et son. En refusant un rapport simplement réactif ou automatisé de la médiation technologique, Wechsler envisage une conception dans laquelle le geste et le *feedback* sonore représentent les polarités d'un même processus expressif[427]. La création de danse interactive *Seine Holhe Form* (2000) est un exemple paradigmatique d'une telle conception. En partant d'un fragment du poème *Gesichter* de Rainer Maria Rilke, le travail explore l'idée radicale d'une composition sonore qui existe seulement grâce aux mouvements des danseurs. Afin d'éviter un rapport univoque entre geste chorégraphique et production sonore, l'écriture de la pièce n'est pas entièrement fixée. En gardant une marge d'improvisation dans la construction des séquences de mouvement, les danseurs peuvent alors établir un rapport véritablement interactif ente geste et production sonore. Du point de vue de la structure du mapping, *Eyecon* est utilisé pour détecter des structures complexes du mouvement : 1. Changement de la présence ou absence du corps dans une certaine position de l'espace. 2. Dynamique du mouvement. 3. Variation du barycentre du danseur. 4. Distance relative entre deux danseurs. 5. Degré de symétrie du

---

[426] Ryan AYLWARD, Daniel LOVELL et Joseph A. PARADISO, "A Compact, Wireless, Wearable Sensor Network for Interactive Dance Ensembles" in *International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks*, Cambridge (Massachusetts), USA, 2006, p. 65–70.

[427] Cf. Robert WECHSLER, "Les ordinateurs et la danse: retour vers l'avenir?", *op. cit.*

corps. 6. Degré d'expansion ou de contraction[428]. À partir de là, le travail de mapping s'articule à travers un processus empirique et expérimental[429]. La chorégraphie de la pièce se structure à partir de telles fonctions corporelles, devenues significatives pour la sémantique de l'interaction. De la même manière, le son s'adapte, du point de vue de la qualité du traitement en temps réel[430], à la logique de la construction du geste ainsi défini. De la même manière, l'improvisation permet d'adapter la construction de patterns gestuels à la qualité sonore produite. Ainsi, le mouvement et le son ne sont pas créés indépendamment l'un de l'autre mais à travers un principe d'interdépendance totale : si d'une part la musique est complètement modelée par le mouvement des danseurs, de l'autre la chorégraphie est affectée par la génération sonore en temps réel. Cette covariance structurelle, qui caractérise la relation geste-musique, produit un corps sonore émergent qui n'est réductible ni à la forme acoustique ni à la forme corporelle. À l'inverse du geste du musicien qui se base sur un répertoire idiomatique lié à l'instrument, le corps sonore interactif, s'avère être une entité métisse, émergente - « An *emergent integrity* arises when the relationship between the dance and music systems is "believable" »[431] - qui est l'effet d'une double tension évoquant tantôt la dramatisation kinesthésique du corps-en-mouvement tantôt la fonction expressive de l'écoute. Par cela, l'anatomie corporelle du *performeur* se re-configure au fur et à mesure que le mouvement sonorisé participe au processus de composition musicale.

Si la danse interactive, et certaines chorégraphes en particulier, explore le paradigme du corps-instrument dans leur pratique, d'autres artistes semblent travailler sur des principes similaires en partant de l'expressivité musicale. Nous avons déjà vu, dans le cas de Michel Waisvisz, que l'engagement corporel représente un paramètre expressif important pour la construction du geste musical. D'autres artistes ont exploré de manière encore plus radicale l'implication du corps dans le processus de génération sonore. Parmi ceux-ci il y a sans doute Atau Tanaka, dont nous avons analysé les techniques de mapping. L'exemple

---

[428] Robert WECHSLER, Frieder WEISS et Joseph B. ROVAN, *op. cit.*

[429] Robert WECHSLER, "Artistic Considerations in the Use of Motion Tracking with Live Performers: A Practical Guide", *op. cit.*

[430] Le design sonore de Seine Holhe Form a été réalisé avec l'environnement de programmation MAXMSP. Les principales techniques employées dans la pièce sont la synthèse additive, la synthèse granulaire et des transformations spectrales en FFTT.

[431] Robert WECHSLER, Frieder WEISS et Joseph B. ROVAN, *op. cit.*

de Tanaka est particulièrement intéressant pour comprendre comment l'*extension* et l'*intensification* sonore du geste, induit une réorganisation de l'anatomie corporelle. L'utilisation des *feedbacks* basés sur les signaux EMG a, en effet, des conséquences profondes sur l'organisation perceptive du mouvement. Si la sonorisation du geste permet une prise de conscience multimodale du mouvement, les *feedbacks* produits par les bio-signaux rendent audibles des aspects imperceptibles de l'activité corporelle comme la tension musculaire. Le travail de Tanaka démontre en outre un enracinement du geste sonore dans les processus intentionnels qui sont à la base du mouvement plutôt que dans le déplacement concret du mouvement dans l'espace[432]. C'est de ce point de vue que Tanaka parle d'une nature viscérale [*visceral*] de l'interaction sonore. Comme nous l'avons précisé l'aspect "viscéral" de l'interaction se réfère au haut niveau de participation physique ainsi qu'au fait que la sonorisation des bio-signaux permet de focaliser l'attention sur l'intentionnalité du mouvement. Ce rapport s'exprime à travers deux éléments clés de la pratique de Tanaka : d'un côté la conception du *feedback* sonore comme rétroaction sur l'organisation proprioceptive du mouvement, de l'autre l'extériorisation de l'articulation physique-corporelle par le biais de la qualité acoustique du *feedback*. Le premier élément est la conséquence du fait que la sonorisation des impulsions électriques, qui sont à la base de la contraction, permet de produire une image sonore du pré-mouvement. Cela permet au *performeur* d'articuler le geste en partant d'une organisation sensorielle inédite. En ce qui concerne le deuxième élément, Tanaka se réfère à une conception spécifique du design sonore renvoyant à la nature physique de la vibration acoustique[433]. En effet, pendant ces années, l'esthétique musicale de Tanaka s'oriente de manière de plus en plus radicale vers des textures granulaires, des matières sonores tactiles et des flux organiques[434]. De plus, le choix du spectre de fréquences utilisé dans la synthèse sonore semble s'orienter vers la recherche systématique de réactions physiques au *feedback* acoustique. Un tel traitement de la matière sonore semble évoquer un imaginaire moléculaire renvoyant tantôt à l'anatomie

---

[432] Cf. Marco DONNARUMMA, "Expert Commentary: Human Bodies, Algorithms and Intuition" in Alexander R. JENSENIUS et Michael J. LYONS (dir.), *A NIME reader. Fifteen years of new interfaces for musical expression*, Cham (Switzerland), Springer International, 2017, p. 56-58.

[433] Cf. Atau TANAKA, "BioMuse to Bondage: Corporeal Interaction in Performance and Exhibition", *op. cit.*

[434] Cf. Atau TANAKA, "The Use of Electromyogram Signals (EMG) in Musical Performance: A personal survey of two decades of practice" in *eContact! Biotechnological Performance Practice / Pratiques de performance biotechnologique*, Montéal, 2012.

sonore du corps tantôt à l'anatomie physique du son. Dans ce double jeu de résonances, concrètes et figuratives, une anatomie inédite émerge, une sorte d'oreille prismatique qui est l'effet de la convergence entre tactilité de la matière acoustique, sensation interne d'effort et rétroaction du *feedback* sur l'organisation perceptive du mouvement :

> « By creating mappings of performance gesture to aspects of sound synthesis that play directly on these perceptual mechanisms, we are able to create physical interaction with an otherwise intangible medium. The feedback loop is complete, as the body on which these mechanisms act are the same body that produce the sound in question. In the simplest case, if muscle tension in the forearm can modulate the frequency and intensity of sound that is reproduced at sufficient amplitude to cause resonant vibration in the bone under that muscle, we have created a form of haptic feedback […]. This brings a physicality to sonic interaction that gives a psychomotor satisfaction […]. It […] brings a visceral dimension of effort and exertion into the articulation of computer generated sound. »[435]

5.2.4 Espace sentant

Si dans le paradigme du corps-instrument l'interface adhère au corps du *performeur*, au niveau plus haut de déterritorialisation l'interface se dilate à tel point qu'elle coïncider avec l'espace. Ici l'architecture interactive n'est distribuée ni dans un corps-médiateur externe ni sur la surface du corps du *performeur*. C'est l'environnement même qui va être agencé selon les règles de l'interactivité. Ici l'espace (scénique, d'installation) devient le dispositif anatomique, densifié ou raréfié selon la grille sensoriel imposée à travers les seuils quantitatifs et qualitatifs du mapping. L'espace n'est plus neutre car il devient capable de réagir aux déplacements et aux actions qui s'y déroulent. L'environnement interactif en tant que lieu de la performance numérique ou des installations est pourtant un « espace sentant », à savoir un espace qui acquiert la capacité d'être sensible à la présence et aux gestes des *performeurs* et/ou des destinataires de

[435] Cf. *Id.*, "BioMuse to Bondage: Corporeal Interaction in Performance and Exhibition", op. cit., p. 164.

l'œuvre[436]. Si, comme on l'a vu dans le troisième chapitre, tout interface interactive peut être considérée, d'un point de vue ontologique, comme un environnement plutôt que comme un outil, le paradigme de l'espace sentant étend ultérieurement cette conception. Ce paradigme n'implique pas seulement une relation écologique entre *interacteur* et *feedback* : ici sont les frontières même de l'espace seront perçues comme les seuils d'interactions.

Dans le deuxième chapitre j'ai déjà décrit, en parlant d'*Osmose* de Char Davies, comment un dispositif spatial hautement *immersif* peut déclencher des processus de déterritorialisation de l'anatomie virtuelle du corps. Le point clé de cette œuvre était la mise en résonance de le corporéité de l'*interacteur* et la corporéité de l'espace. Une telle conception était déjà présente dans le travail fondateur de David Rokeby, *Very Nervous System* (1986-1990)[437]. À partir du 1986, David Rokeby met au point un dispositif capable de générer des séquences musicales en réponse au mouvement. Les principes d'interaction à la base de cette interface révolutionnaire inspireront, dans les années suivantes, le développement de nombreuses installations interactives exploitant l'utilisation de la musique. *VNS* est l'évolution d'autres systèmes musicaux crées par Rokeby à partir du début des années 1980. Le système employait trois caméras connectées à un ordinateur capable d'analyser le mouvement de l'*interacteur* à travers un processeur d'image pour ainsi piloter un système de génération audio (d'abord un synthétiseur externe et puis des algorithmes en MaxMsp)[438]. Le

---

[436] L'expression "espace sentant" s'inspire de la définition de la « scène sentante » élaborée par Armando Menicacci pour décrire l'espace de la performance *médialisé* par la technologie. L'auteur re-élabore à son tour l'expression à partir du concept de « chose sentant » du philosophe Mario Perniola : Armando MENICACCI, "Un interstice impalpable" in AAVV, *Scènes d'architectures. Nouvelles architectures françaises pour le spectacle*, Éditions du Patrimoine, Paris, 2007, p. 18-23.

[437] L'installation-interface est considérée comme une des œuvres les plus influentes dans l'histoire des arts numériques. Il s'agit probablement de la première installation interactive se basant entièrement sur l'interaction entre son et mouvement. Depuis son premier prototype a été exposée dans nombreux lieux internationaux comme la Biennale de Venise (1986) pour ensuite gagner en 1991 le Ars Electronica Prize, considéré comme le prix le plus important pour les arts numériques. Le système sera développé dans différentes versions jusqu'au début des années 1990. Cf. Katia KWASTEK, *op. cit.* p. 234-240.

[438] Pour une description détaillée de la structure technique des algorithmes employés dans la dernière version de VNS je renvoie à Margaret SCHEDEL, "softVNS 2 Real Time Video Processing and Tracking Software" in *Computer Music Journal*, MIT Press, 29(4), 2005, p. 97-98.

mouvement pouvait contrôler la modulation d'un certain nombre de paramètres liés à des séquences sonores pré-composées (des patterns musicaux ou des compositions électroacoustiques) intégrant aussi des principes d'indétermination[439]. *VNS* a été principalement présenté comme une installation dans les galeries. D'ailleurs le système interactif a été également utilisé dans des installations pour des espaces extérieurs publics ainsi que dans un certain nombre de spectacles[440]. L'aspect innovant du système créé par Rokeby résidait dans la conception de l'interface. Celle-ci n'est pas conçue en tant que dispositif, mais plutôt comme environnement *énactif*, c'est-à-dire comme un processus ayant une évolution interne capable de solliciter l'implication corporelle de l'*interacteur*[441]. Le but principal de *VNS* n'est pas en effet de créer un dispositif de contrôle mais plutôt de développer un *lieu de l'expérience* : par le biais du retour sensoriel, l'*interacteur* ne cherche pas à maîtriser les règles du jeu mais il essaie de développer une posture physique cohérente, lui permettant d'entrer en résonance avec l'environnement :

> « The active ingredient of the work is its interface. The interface is unusual because it is invisible and very diffuse, occupying a large volume of space, whereas most interfaces are focussed and definite. Though diffuse, the interface is vital and strongly textured through time and space. The interface becomes a zone of experience, of multi-dimensional encounter. The language of encounter is initially unclear, but evolves as one explores and experiences. […] The installation could be described as a sort of instrument that you play with your body but that implies a level of control which I am not particularly interested in. I am interested in creating a complex and resonant relationship between the interactor and the system. »[442]

On voit donc que dans *VNS*, l'interface-environnement est conçue comme un espace sentant capable

---

[439] Dans les différentes versions du système l'artiste utilise des compositions diverses. Les bandes-son employées sont tantôt des musiques traditionnelles tantôt des musiques électroacoustiques. Toutes les bandes sonores sont composées par l'artiste même.

[440] Cf. Todd WINKLER, "Creating Interactive Dance with the Very Nervous System" in *Proceedings of the Connecticut College Symposium on Arts and Technology*, New London (Connecticut), USA, 1997.

[441] Cf. Katja KWASTEK, "Immersed in Reflection? The Aesthetic Experience on Interactive Media Art" in, Burcu DOGRAMACI et Fabienne LIPTAY *Immersion in the Visual Arts and Media*, Leiden (Netherlands), Brill, 2016, p. 77-86.

[442] David ROKEBY, *Very Nervous System (1986-1990)* : http://www.davidrokeby.com/vns.html Consulté le 12/08/2017

d'induire une résonance entre l'*interacteur* et le paysage sonore. Cette relation peut stimuler une prise de conscience du corps qui est ici expérimenté sous forme sonore. Une autre œuvre capable d'explorer le potentiel épistémologique de l'environnement sonore selon le paradigme de l'espace sentant est *Sensuous Geographies* (2003), travail réalisé par la chorégraphe et artiste numérique Sarah Rubdige en collaboration avec la compositrice Alistair MacDonald[443]. L'installation/performance prévoit un parcours à l'intérieur d'un environnement interactif dans lequel les visiteurs, avec les yeux bandés, sont habillés par des collaborateurs des artistes avec des tuniques colorées. L'aspect central de ce travail est de suspendre la vision en tant que canal sensoriel privilégie pour ainsi enquêter sur les rapports entre corps, son et espace. Le but principal de l'installation est, en effet, de porter l'attention des participants sur les sensations corporelles et d'utiliser cette prise de conscience pour guider le comportement des mouvements. Cela doit permettre l'interactivité collaborative entre les participants n'entraînant pas seulement le contrôle des structures sonores mais également la prise de conscience de « formes chorégraphiques émergentes »[444]. En effet, un aspect très original du travail de Rubidge consiste à utiliser les médias interactifs comme des moyens pour transformer l'espace de l'installation à travers une dynamique performative[445]. En cela l'espace-lieu devient également un espace-processus. L'environnement interactif de *Sensuous Geographies* est en même temps un espace de jeu et un espace méditatif, parfois presque rituel, dans lequel les barrières entre le public et l'œuvre d'art sont dissoutes. Au début les spectateurs sont invités à écouter leur corps et l'espace qui résonne autour

---

[443] L'installation se développe dans un grand espace (minimum de 10x10m) accroché avec des bannières translucides, sur lesquelles des lumières sont projetées (la partie visuelle exploite le logiciel *Isadora* développé par Mark Coniglio et souvent utilisé par la compagnie Troika Ranch). Il s'agit principalement d'une installation sonore comprenant des univers polyphoniques assez riches composés par des couches sonores indépendantes qui sont activées par les participants. Un bande-son particulière est associée à chaque *interacteur*. Les mondes acoustiques diffèrent d'un moment à l'autre et prennent vie à travers les actions des visiteurs : au fur et à mesure qu'ils se déplacent à l'intérieur de l'espace d'installation, ils influencent également la qualité de leur propre son et, par conséquence, la texture globale de l'environnement sonore. Cf. Sarah RUBIDGE et Alistair MACDONALD "Sensuous Geographies - a multi-user interactive/responsive installation" in *Digital Creativity*,15(4), 2004, p. 245–252.

[444] *Ibidem.*

[445] Sarah RUBIDGE "Performing Installations: Towards an understanding of choreography and performativity in interactive installations" in Joanne BUTTERWORTH et Lisbeth WILDSCHUT, *Contemporary Choreography : A Critical Reader*, New York, Routledge, 2009, p. 362-376.

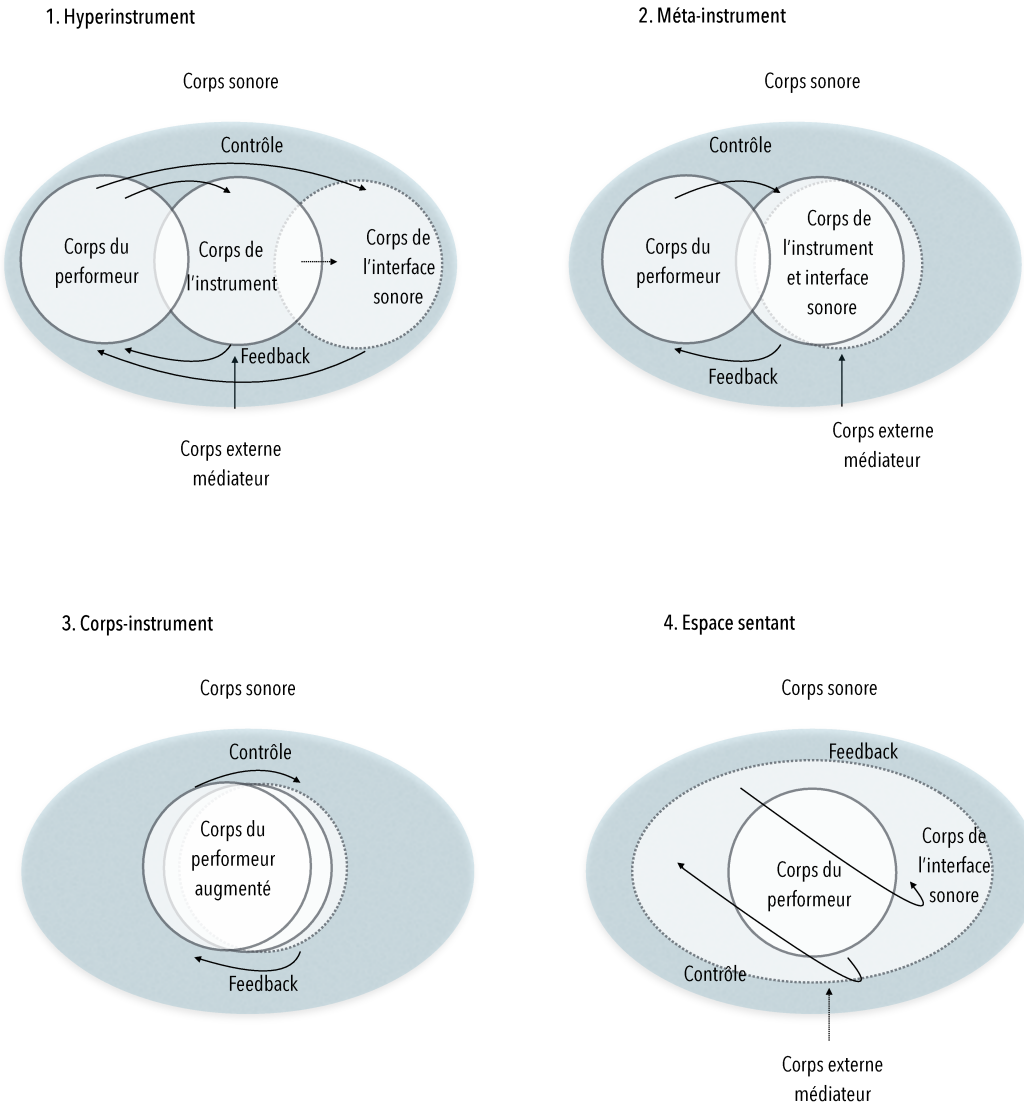
d'eux. Ensuite ils doivent reconnaître leur propre son en s'abandonnant à l'exploration. Le système de *motion capture* employé se base sur l'exploitation d'une caméra envoyant les données à un programme réalisé en MaxMsp. Un algorithme de "reconnaissance de couleur" [*color recognition*] permet d'associer un son particulier à chaque participant, étant vêtus de tuniques d'une couleur différente. Rubidge parle à ce propos d'une « signature sonore ». Le mouvement dans l'espace (direction et vitesse) affecte la modulation de certains paramètres sonores. La proximité entre les participants influence également la transformation du son. L'artiste, en régie du son, détermine, en temps réel, les paramètres musicaux avec lesquels les participants peuvent interagir en créant une sorte de méta-interaction entre les participants et l'artiste. La résultante est une expérience délicate et fortement sensorielle dans la quelle le son devient la caisse de résonance de chaque mouvement. En même temps, on peut écouter les autres, leurs actions, leurs déplacements dans l'espace, par le biais de leur trace sonore. Leur présence articule pourtant l'espace sonore dans un « jeu » musical dans lequel l'interface dilatée, à savoir l'espace sentant, nous invite à l'écoute. L'espace est de cette manière « joué » musicalement : tout comme dans plusieurs formes d'improvisation musicale, les participants écoutent et répondent, se contredisent et créent des duettos ou des séquences d'ensemble, tandis que l'opérateur en régie fait des choix sonores qui dépendent du comportement et de l'énergie se déroulant dans l'espace[446]. Chaque environnement sonore a une sensibilité particulière qui répond à l'attitude des participants vers leur propres corps, cela modifie la qualité de leurs mouvements, alors que, en même temps, il agit sur les dynamiques musicales et environnementales de l'espace sonore lui-même. La rétroaction sonore a donc pour effet de redessiner la géographie sensorielle du corps des participants qui deviennent ainsi capables de repenser l'organisation perceptive du mouvement en relation à soi-même, aux autres et à l'environnement :

> « From an experiential perspective the physiological responses of each individual participant were an important factor in their behavioural response to the installation. The participants' verbal observations concerning their behaviour indicated that the autonomic, or at the very least semi-autonomic, physiological responses being elicited by the installation environment were guiding some of their motor responses. Installations such as […] *Sensuous Geographies*, through the interface between the body and technology, are

[446] Cf. Steve DIXON, *op. cit.*, p. 404.

intended to draw attention to the more subtle aspects of our being in the world, and in doing so implicitly to sensitise participants to the 'hidden' sensibilities inherent in their responses to the environments in which they find themselves immersed, and to their dialogue with others. »[447]

Schéma 6 - Paradigmes interactifs



[447] Sarah RUBIDGE, "Sensuous Geographies and Other Installations: Interfacing the Body and Technology" in Susan BROADHURST et Josephine MACHON, *Performance and Technology. Practices of Virtual Embodiment and Interactivity*, *op. cit.*, p. 123-124.

5.3 Vers une pensée sonore du corps

Avec la prolifération de l'interface comme dispositif de déterritorialisation, le son assume un rôle de premier plan. La médiation technologique et l'interactivité avec l'environnement sonore mettent l'écoute et la perception au centre de l'expérience esthétique. À travers le *feedback* sensoriel, le son n'est plus seulement un moyen expressif mais l'indice d'une présence, la trace de la composition organique du geste évoquant les processus de virtualisation qui régissent l'organisation perceptive du mouvement. Par le biais de la médiation technologique, la dimension acoustique est donc conçue en rapport aux interactions qu'elle entretient avec la perception, la cognition et le mouvement : par cela le corps se sonorise et le son se *corporise*[448].

Comme je le précisais au début du chapitre, l'avénement de la médiation technologique et de l'interactivité ont stimulé un ensemble de réflexions portant sur la nature incarnée de la cognition sonore[449]. Dans ce cadre, on assiste actuellement à l'émergence de ce que j'appelle une *pensée sonore du corps*, à savoir une épistémologie enracinée dans le rapport chiasmatique qui lie l'apparat sensori-moteur et la perception sonore. Dans quelle mesure la médiation technologique est-elle impliquée dans une telle innovation dans le domaine de la pensée ? J'ai déjà fait référence aux réflexions des auteurs comme Hansen, Potapova, et d'autres, qui voient dans le numérique un moyen de solliciter une connaissance plus approfondie de la corporéité. En ce qui concerne le domaine de la musicologie contemporaine, ce passage conceptuel est dû, à mon avis à deux facteurs principaux : d'une part, les techniques et les technologies modernes d'analyse du mouvement ont mis en lumière la connexion intime entre le phénomène sonore et

---

[448] Du point de vue étymologique le terme « *corporiser* » se réfère au processus de "donner corps" à ce qui est esprit ou, plus généralement, au fait de donner une consistance solide à ce qui est fluide. L'utilisation de ce terme, assez rare, a donc pour nous une certaine pertinence philosophique puisqu'il indique un processes inverse par rapport à l'idéalisation du phénomène acoustique dont j'ai parlé lors du premier chapitre. Il convient de noter que le terme a été déjà utilisé dans un contexte théorique par Jacques Lacan. Le psychanalyste et théoricien l'utilise dans le *Séminaire XX* pour définir la « jouissance corporelle d'un état mental ».

[449] Avec "cognition" j'entends l'ensemble des facultés cognitives ou des processus mentaux, tels que la mémoire, le langage, la formation de concepts abstraits, la reconnaissance de formes, la résolution de problèmes, etc., destinés à produire une forme quelconque de connaissance.

le mouvement. De l'autre, la conception, le développement et la réalisation des interfaces imposent, comme on l'a vu, une connaissance de plus en plus approfondie du corps et des processus d'incorporation fondant l'interaction entre l'être humain et son environnement. Un dernier élément concerne enfin le fait que, comme dans une boucle, les connaissances acquises sur le corps par le biais de la technologie ont permis de développer une cadre théorique informant, à son tour, la conception de la médiation technologique. La médiation technologique devient ainsi un moyen de solliciter notre implication corporelle dans le phénomène musical :

> « Mediation technology should be conceived as an extension of the human body and that the mediation technology should focus on the connection between human intentions and the physically encoded energy. The background for that type of technology-oriented research can be provided by embodied music cognition research in which attention is focused on aspects of presence and non-mediation. Indeed, in many cases music mediation technology is effective when it becomes invisible (or, better, when it becomes an extension of the natural mediator which is the human body). This aspect is very challenging in core areas of modern music research : music information retrieval and interactive music systems. »[450]

[450] Marc LEMAN, *Embodied Music Cognition and Mediation Technology*, *op. cit.*, p. 237.

5.3.1 La cognition musicale incarnée

Pendant la dernière décennie, la notion d'incorporation [*embodiment*][451] a acquis un rôle majeur au sein de la réflexion autour de l'expérience musicale. Au lieu de considérer le processus d'écoute selon un modèle purement computationnel - l'auditeur reçoit un *input* externe (la musique), élabore cet input et produit un *output* en réponse (à l'instar d'un mouvement ou d'une description des sensations produites par l'écoute) - la perspective incarnée considère l'auditeur comme impliqué dans une boucle interactive avec l'environnement sonore. Tantôt la perception tantôt l'action musicales sont des processus réciproques alimentant cette boucle. Cela fait que le couplage action/prédiction est co-déterminé par les contraintes de l'environnement sonore et du corps de l'organisme qui interagit. La musique est pourtant quelque chose avec laquelle l'être humain interagit par le biais de ses habilités sensori-motrices, cognitives et émotives afin d'optimiser cette interaction[452]. Une telle perspective constitue le terrain de ce qu'on appelle, d'après Marc

---

[451] Avec l'expression *embodiment* je fait référence a un paradigme qui met le corps au centre d'un ensemble de processus perceptifs et cognitifs et qui s'inspire de la phénoménologie de la perception de Maurice Merleau-Ponty ainsi que de la notion de *habitus* re-élaborée par Pierre Bourdieu à partir de Marcel Mauss. Ce paradigme se base sur le dépassement du dualisme cartésien corps-esprit qui caractérise l'épistémologie classique et moderne et qui représente, même aujourd'hui, un modèle de référence pour le sciences cognitives. Entre la fine des années 1980 et la première moitié des années 1990 la notion d'incorporation deviens populaire dans nombreux domaines scientifiques comme l'anthropologie (Thomas J. Csordas), la biologie (Francisco Varela), les neurosciences (Antonio Damasio, Vittorio Gallese), la linguistique (George Lakoff), la philosophie (Alva Nöe, Andy Clarck), les nouveaux médias (Susan Broadhurst), etc. . À partir de cela le terme "*embodied*" commence à être associé au terme "*cognition*" en désignant une approche épistémologique selon laquelle la cognition est enracinée dans les systèmes sensori-moteurs, les actions, le corps et ses interactions avec l'environnement : cf. Lawrence SHAPIRO (dir.), *The Rutledge Handbook of Embodied Cognition*, New York, Routledge, 2014.

[452] Cf. Micheline LESAFFRE, Pieter-Jan MAES et Marc LEMAN (dir.), *The Routledge Companion to Embodied Music Interaction*, New York, Routledge, 2017, p. 1-10.

Leman, une cognition musicale incarnée [*embodied music cognition*][453]. En accordant une attention particulière aux interactions sensori-moteurs et à la perception, les théories liées à ce paradigme conçoivent la cognition comme un ensemble de processus situés dans un environnement (on pourrait aussi dire un milieu, au sens de von Uexküll). Cette approche fournit un modèle pour étudier la cognition qui va au-delà de la dichotomie traditionnelle entre une vision purement neurophysiologique et une vision purement psychologique du phénomène sonore. Le dépassement de ce dualisme s'articule notamment à travers le modèle de la boucle interactive à laquelle j'ai fait référence. Les théories qui ont été développées dans le cadre général de la cognition incarnée de la musique, démontrent, en effet, comment l'être humain perçoit et comprend la musique en termes de mouvements corporels induits par la musique. Par cela le corps assume un rôle central même dans les processus de formation de la signification musicale[454].

---

[453] La traduction française "théorie de la cognition musicale incarnée" a été utilisée par Marc Leman dans un article co-écrit avec Leen de Bruyn, Pieter Jan-Maes, Bart Moens et Luc Nijs en 2012 : Marc LEMAN et al., "Musique et incarnation : le couplage de l'action et de la perception" in Robert WANGERMÉE et Marc RICHELLE (dir.), *Musique et sciences de l'esprit : Actes de colloque*, Bruxelles, Belgique, 2012, p. 109-120. Par conséquence je vais employer, dorénavant, cette expression pour traduire "embodied music cognition". Malheureusement la théorie n'a pas encore reçu une attention remarquable au sein de la literature scientifique francophone, différemment de la literature internationale en langue anglaise. Par cela la traduction de l'anglais "embodied cognition", qu'on trouve dans certains contextes comme "cognition incarnée" ou dans d'autres comme "cognition incorporée", reste encore assez problématique. Il faut en outre souligner que le terme "embodied" utilisé par Leman fait référence tantôt au fait aux processus d'incorporation tantôt à la nature "située" des processus cognitifs. À ce propos, il convient de noter que si le terme "incorporation" est traduit en anglais comme *embodiment*, le terme cognition incarnée peut également se référer à l'expression *grounded cognition* (qui renvoie plutôt à la nature située et enracinée de la cognition). Après une série de recherches sur des plateformes comme academia.edu , researchgate.net et scholar.google.com j'ai pu vérifier que l'expression "cognition musicale incarnée" n'est actuellement pas présent dans aucun texte francophone (14/08/2017). Je renvoie au seul texte employant l'expression "cognition musicale incarnée" que j'ai repéré en utilisant le moteur de recherche français www.sudoc.abes.fr : Mathieu PECKEL, *Le lien réciproque entre musique et mouvement étudié à travers les mouvements induits par la musique*, Thèse de Doctorat en Psychologie, Université de Bourgogne, Dijon, 2014. Baptiste Caramieux aussi utilise l'expression *cognition incarnée de la musique* en référence de théorie de Leman : Baptiste CARAMIAUX, *Étude sur la relation geste-son en performance musicale*, Thèse de Doctorat en Acoustique, Traitement du Signal et Informatique appliqué à musique, Université Marie Curie - Paris VI / Ircam, Paris, 2012.

[454] Pietr-Jan MAES et al., "The coupling of Action and Perception in Musical Meaning Formation", *op. cit.*

Comme on le sait, les approches traditionnelles à l'étude de la musique se limitent souvent à étudier les processus cognitifs en termes d'opérations purement mentales ayant lieu dans le cerveau. Ces approches, qu'on pourrait appeler cognitivistes ou, de façon générale désincarnées, se situent dans le sillage du rationalisme occidental et appliquent le modèle de la machine-calculateur pour comprendre le fonctionnement du cerveau[455]. Selon un tel paradigme, il faut considérer l'expérience de la musique comme un processus unidirectionnel, où la perception et l'action sont séparées : l'action est la résultante en sortie du traitement des informations obtenues grâce à la perception[456]. Les mécanismes de traitement sont gérés exclusivement par la cognition. En d'autres termes, dans les approches cognitivistes pures lorsqu'on réalise une action nous somme en train de traiter continuellement les données provenant du système sensoriel. En revanche, à partir d'une perspective incarnée, les activités liées à la musique découlent de l'interaction mutuelle entre la perception et l'action. En cela les mécanismes sensori-moteurs activés par la musique ont un rôle direct dans la facilitation de la perception sonore. Dans cette perspective, le système nerveux central n'a pas besoin de "traiter les informations" pour établir un lien entre les sensations et les actions. Il suffit de trouver dans l'environnement les signaux appropriés qui doivent être correctement associés à la bonne réponse motrice. Les théories de la cognition incarnée soutiennent pourtant l'idée qu'il n'y a pas de séparation réelle entre les processus mentaux et le corps, en décrivant la cognition en termes de dynamique entre agent et environnement plutôt qu'en termes de calcul de l'information reçue passivement. Dans cette perspective, la perception et l'action deviennent interdépendants et se déroulent conjointement dans l'activité sensori-motrice.

---

[455] Voir par exemple Irène DELIÈGE et John SLOBODA (dir.), *Perception and Cognition of Music*, Hove (UK), Psychology Press, 1997.

[456] Une telle perspective est également partagée par les approches linguistiques ou sémiotiques. Selon Jackendoff, par exemple, la perception et le traitement de la musique et du langage sont régis par des fonctionnements similaires se basant sur une grammaire spécifique : les deux catégories de stimuli impliquaient la construction de structures abstraites à partir d'événements purement auditifs. Ainsi, une grammaire musicale englobe certaines règles qui définissent les structures musicales qui sont accessibles à l'auditeur et relie ces structures à leur équivalent acoustique : cf. Ray JACKENDOFF, *Languages of the mind: essays on mental representation*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 1992.

Comme on le voit, la perspective de la cognition musicale incarnée se développe sur des bases tout à fait similaires à celles que nous avons esquissées dans le premier chapitre en parlant du rapport entre perception, virtualité et chiasme. Un aspect spécifique des approches incarnées à la musique repose toutefois sur l'attention consacrée au geste. Selon la théorie de la cognition musicale incarnée, le geste (mais plus généralement le corps en tant que source de mouvements volontaires et involontaires) est le véritable médiateur entre l'expérience subjective de la musique (la représentation mentale ou la sensation interne produite par le son) et l'environnement sonore (tantôt comme phénomène physique tantôt comme système de médiation de comportements culturels)[457]. Cette notion de corps-médiateur, que j'ai abordée en parlant des paradigmes de l'interface sonore, se structure autour de deux points-clé : 1. La réciprocité entre perception et action; 2. La nature multimodale de l'expérience et du geste musicaux. Le premier aspect concerne la nature à la fois active et passive de la perception musicale. Dans le premier chapitre, nous avons appelé cette réciprocité avec l'expression *chiasme intrasensoriel*. En bref, en produisant une réponse dans notre système musculaire et impliquant l'activation de processus de sélection et d'inhibition dans notre apparat sensori-moteur, l'expérience sonore n'est jamais une forme simplement passive d'écoute. La deuxième question repose sur le fait que l'expérience musicale ne se compose pas seulement par des sensations auditives. Elle engendre également des stimuli visuels, des sensations proprioceptives, des perceptions tactiles et bien évidemment une réponse kinesthésique. L'interaction entre toutes ces différentes dimensions sensorielles renvoie, d'ailleurs, à ce que j'ai appelé le *chiasme intersensoriel*.

5.3.2 La théorie mimétique

Selon ce que Leman appelle une "ontologie orientée vers l'action" [*action oriented ontology*], le geste est non seulement un moyen expressif mais, plus globalement, un médiateur pour la formation de la signification musicale. L'idée centrale est qu'un niveau intentionnel d'interaction musicale est établi par imitation d'informations physiques détectées dans l'environnement musical à travers des articulations corporelles. En d'autres termes, on suppose que le geste et l'imitation corporelle sont des constituants

[457] Marc LEMAN, *Embodied Music Cognition and Mediation Technology*, *op. cit.*, p. 13, 43-45 et 137-138.

fondamentaux du processus de signification sonore[458]. Un tel principe permet de comprendre le rapport entre son et mouvement selon ce que Rolf Godøy appelle une « théorie de l'imitation motrice » en musique [*motor mimetic theory*][459]. La prémisse d'une telle théorie est une constatation empirique assez évidente : la musique "bouge" littéralement les gens, et, dans la mesure où ils se sentent immergés ils résonnent corporellement avec l'énergie sonore. En partant de cette prémisse, diverses études ont par exemple enquêté la manière dont les mouvements spontanés du corps en réponse à la musique peuvent être liés aux descriptions métaphoriques utilisées pour décrire les qualités expressives que les personnes perçoivent dans la musique. L'hypothèse principal consiste à affirmer que les personnes répondent souvent à la musique en faisant des mouvements corporels qui reflètent des aspects structuraux du son, comme les contours mélodiques et rythmiques, ou en reproduisant les gestes de production sonore vus ou imaginés. Leman parle à ce propos des « modèles moteurs de l'expressivité musicale »[460], Arnie Cox de l'« imaginaire moto-mimétique »[461]. Les hypothèses théoriques avancées par la cognition musicale incarnée sont soutenues par des études empiriques montrant des analogies entre les mouvements évoqués chez les auditeurs et ceux des musiciens interprètes[462]. La théorie mimétique est en outre confirmée par le fait que les mouvements des interprètes contribuent de manière significative à la perception de l'intention expressive[463]. D'autres études montrent que les caractéristiques principales de la musique occidentale, telles que la mélodie, l'harmonie, le timbre et le rythme sont interprétées de manière pertinentes à partir de

---

458 Marc LEMAN et Pietr-Jan MAES, "The role of embodiment in the perception of music" in *Empirical Musicology Review*, 9(3-4), 2015, p. 236–246.

459 Rolf I. GODØY, "Motor-Mimetic Music Cognition" in *Leonardo*, MIT Press, 36(4), 2003, p. 317–319.

460 Marc LEMAN, *Embodied Music Cognition and Mediation Technology, op. cit.*, p. 95-97.

461 Arnie COX, "Embodying music: Principles of the mimetic hypothesis" in *Music Theory Online*, 17(2), 2011, p. 1-24.

462 Cf. Marc LEMAN et al., "Sharing musical expression through embodied listening: A case study based on Chinese Guqin music" in *Music Perception*, 26(3), 2009, p. 263–278.

463 Cf. Mary BROUGHTON et Catherine STEVENS, "Music, movement and marimba: an investigation of the role of movement and gesture in communicating musical expression to an audience" in *Psychology of Music*, 37(2), 2009, p. 137–153; Donald GLOWINSKI et al., "Expressive non-verbal interaction in a string quartet: an analysis through head movements" in *Journal on Multimodal User Interfaces*, 9(1), 2014, p. 55-68; Jonna K. VUOSKOSKI et al., "Crossmodal interactions in the perception of expressivity in musical performance" in *Attention, Perception, & Psychophysics*, 76(2), 2014, p. 591–604.

l'incorporation d'éléments morphologiques principaux[464]. Dans cette perspective Godøy a exploré la relation entre incorporation et *objet sonore* en essayant de promouvoir une sorte de synthèse théorique entre l'approche incarnée et la typo-morphologie de Pierre Schaeffer[465]. L'équipe de recherche du department de musicologie de l'Université de Oslo a étendu cette approche à travers des expériences dans lesquelles les participants ont été invités à se déplacer en suivant les caractéristiques perceptives des objets sonores. Les données acquises par le biais d'un système de *motion capture* ont été analysées et corrélées avec un ensemble de fonctions sonores quantitatives[466].

En agissant comme médiateur, le corps va construire un répertoire de gestes et de gestes-actions, qui fonctionnent comme des patterns permettant d'une part de coder l'intentionnalité expressive contenue dans la musique et de l'autre de représenter de manière cohérente la morphologie des objets sonores. Ce répertoire peut être considéré comme une collection de mouvements réalisés pour atteindre un objectif particulier (actions) lié aux expériences et aux sensations résultant de ces actions. Le couplage des actions et des sensations perçues forme un moteur qui guide notre compréhension de la musique. Grâce à ce mécanisme, l'auditeur est capable de relier les aspects physiques du mouvement dans l'espace aux qualités expressives et aux intentions musicales. À l'inverse, l'écoute de la musique rappelle également une connaissance mentale des mouvements du corps associés à une certaine expression sonore. Ce processus continu et bidirectionnel permet à l'auditeur non seulement d'attribuer des intentions et des sentiments à la musique, mais aussi de prédire les résultats des actions et de les projeter sur la musique[467]. D'ailleurs, on

---

[464] Alexander R. JENSENIUS et al., "Searching for Cross-Individual Relationships between Sound and Movement Features using an SVM Classifier" in *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME '10)*, Sydney, Australia, 2010, p. 259–262; Brigetta Burger et al., "Relationships Between Perceived Emotions in Music and Music-induced Movement" in *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 30(5), 2013, p. 517–533.

[465] Pierre SCHAEFFER, *Traité des objets musicaux* [1966], Éditions du Seuil, Paris, 1977. Voir également Michel CHION, *Guide des objets sonores. Pierre Schaeffer et la recherche musicale*, Paris, Éditions Buchet/Chastel, 1983.

[466] Kristian NYMOEN et al., "Analyzing correspondence between sound objects and body motion" in *ACM Transactions on Applied Perception*, 10(2), 2013, p. 1–22.

[467] Pietr-Jan MAES et al., "Action-Based Effects on Music Perception" in *Frontiers in Psychology*, 4(1008), 2014.

peut aussi ajouter que la résonance réciproque entre auditeur et musique s'enracine sur ce que Vittorio Gallese, un des découvreurs des neurones miroirs[468], appelle, en parlant de la performance de théâtre, une « simulation incarnée »[469]. Cette correspondance entre le corps sonore de l'auditeur et le corps sonore de la musique s'articule d'une part sur une participation imaginaire au processus de production sonore et de l'autre sur une implication sensori-motrice inhérente à la musique. Cette condition de réciprocité représente la base de la communication et de l'expression intentionnelle en musique, ainsi que de plusieurs phénomènes sociaux tels que l'empathie et le lien social[470].

5.3.3 Énaction et perspective écologique

La cognition musicale incarnée comme la théorie mimétique s'enracinent dans ce que j'ai défini, de manière plus ou moins explicite, comme une vision écologique. Celle-ci a été évoquée en parlant du virtuel comme écosystème incarné, ou encore en définissant l'interactivité comme rétroaction autopoïétique. Au sens général, une telle approche met l'accent sur l'hypothèse que l'expérience du monde est déterminée par l'interaction mutuelle entre les capacités sensori-motrices d'un organisme et l'environnement dans lequel il se trouve. Cette relation mutuelle et réciproque, est à la base d'une forme de connaissance *énactive*. Selon le paradigme de l'énaction les organismes vivants participent activement à la génération de sens par

---

[468] Voir par exemple Giacomo RIZZOLATTI et Corrado SINIGAGLIA, *Mirrors in the Brain. How we share actions and emotions*, New York, Oxford University Press, 2008. Les neurones miroirs sont des neurones visuo-moteurs qui ont d'abord été étudiés sur le macaque. Ces neurones, découvert à fin des années 1980, avaient la particularité de s'activer lorsque le singe réalisait une action et également lors de son observation. Leur étude a permis de mettre en évidence plusieurs propriétés dont la découverte a contribué à l'avancée des théories sur l'incarnation de la cognition. La première est que leur activation était déclenchée lorsque des actions étaient réalisées avec un but précis. Deuxièmement, ces neurones étaient actifs même lorsque l'action observée est incomplète. Cette observation suggère dès lors que les neurones miroirs réagissent davantage à la finalité de l'action qu'aux mouvements réalisés pour y parvenir; des gestes similaires à une action précise réalisés hors contexte ne donnant pas d'activation. Lorsque ces mouvements sont réalisés avec des effecteurs différents, les neurones miroirs s'activent également (par exemple attraper un objet avec le pied ou la main).

[469] Vittorio GALLESE, "Il corpo teatrale : mimetismo, neuroni specchio, simulazione incarnata", *Culture Teatrali*, 16, 2007, p. 13-37.

[470] Cf. Marc LEMAN, "Music, gesture, and the formation of embodied meaning" in Rolf I. GODØY et Marc LEMAN (dir.), *Musical Gestures: Sound, Movement and Meaning*, London-New York, Routledge, 2010, p. 126–153.

le biais de leur engagement corporelle ainsi qu'à travers des interactions transformatrices avec l'environnement[471]. Différemment des approches cognitivistes traditionnelles, dans la perspective écologique et dans le paradigme de l'énaction, l'action et la perception sont traitées comme une entité unitaire. Il convient de noter qu'une subtile différence entre énaction et perspective écologique subsiste. Selon l'énaction, les processus mentaux sont "incarnés", "intégrés" dans l'environnement, "référés à l'action", "étendus" au milieu de l'organisme. Le cœur des ces approches est donc le fait que l'organisme vivant est "autonome" c'est-à-dire capable d'une auto-transformation à partir de l'interaction et de l'intégration active et incarnée avec l'environnement. Une telle approche est issue des travaux philosophiques de Merleau-Ponty, et de recherches en biologie de Maturana et de Varela. La perspective écologique, et particulièrement la psychologie écologique ou environnementale, se réfère aux travaux fondateurs de James J. Gibson et de Roger G. Barker. L'aspect central de cette perspective est d'affirmer la nature directe de l'acte perceptif, en refusant la médiation des représentation mentales. L'environnement a donc un rôle primaire dans la structuration de la perception humaine. Comme on le voit, énaction et perspective écologique convergent donc sur plusieurs aspects. Une différence substantielle consiste dans le fait que l'énaction met l'accent sur le processus auto-génératif de l'organisme en interaction avec l'environnement, tandis que la vision écologique donne une importance majeure à la fonction de l'environnement.

Les approches de l'énaction en musique mettent l'accent sur une définition de la musique comme environnement dans lequel les différents acteurs (auditeurs, musiciens, musique) sont intégrés. Selon certains auteurs l'approche de l'énaction permet d'expliquer les niveaux les plus intimes et primitifs de la participation humaine à la musique en valorisant les aspects fondamentaux et pré-conceptuels de la

---

[471] « According to the enactive approach, what makes living organisms cognitive beings is that they embody or realize a certain kind of autonomy : they are internally self-constructive in such a way as to regulate actively their interactions with their environments. […] From this perspective, basic autonomy is the capacity of a system to manage the flow of matter and energy through it so that it can, at the same time, regulate,modify, and control: (i) internal self-constructive processes and (ii) processes of exchange with the environment » Evan THOMPSON et Mog STAPLETON, "Making sense of sense-making: Reflections on enactive and extended mind theories" in *Topoi*, 28(1), 2009, p. 23–30.

cognition musicale[472]. Une conséquence remarquable d'une telle approche en musique est, comme on l'a vu, le paradigme de la résonance comme élément clé pour comprendre tantôt la boucle action/perception tantôt le phénomène emphatique. Un autre aspect majeur concerne la connaissance directe et holistique des phénomènes perceptifs. Du point de vue écologique, la musique est directement expérimentée, sans représentations mentales intermédiaires, se révélant elle-même à travers des modes d'action et de perception sensoriels. Cela diffère évidemment des approches cognitivistes pures qui considèrent le mouvement du corps, effectué par des personnes réagissant à la musique, simplement comme le sous-produit de processus internes impliquant un système de représentation symbolique. Au contraire selon une perspective écologique, en repérant des informations dans l'environnement dont ils font partie, les organismes extraient des significations perceptives immédiates de manière directe. En cela le monde n'est pas perçu comme un ensemble des qualités objectives, mais comme un réseau des significations pertinentes. Au sein d'une telle perspective, la notion d'*affordance*[473] a un rôle central. Cette notion a été introduite par James Gibson pour dénoter les "possibilités d'action" offertes aux organismes par les objets présents dans l'environnement[474]. Ces possibilités d'action sont spécifiées de façon relationnelle, c'est-à-dire à la fois par les caractéristiques structurelles particulières de l'environnement et des objets, ainsi que par le répertoire des capacités sensori-motrices que l'organisme emploie pour détecter et répondre à ces caractéristiques structurelles. Récemment, on a commencé à intégrer le concept d'*affordance* dans les théories sur la cognition musicale[475]. Dans ce contexte, il a été mis en évidence comment les actions déclenchées par les affordances sont le produit d'une médiation culturelle et pas seulement de propriétés structurelles de l'objet[476]. Ainsi, un violoncelle peut induire une *affordance* chez un membre d'une certaine

---

[472] Jakub MATYJA et Andrea SCHIAVIO, "Enactive music cognition: Background and research themes" in *Constructivist Foundations*, 8(3), 2013, p. 351-357.

[473] N'étant pas des traductions satisfaisantes de cette notion disponibles je vais garder le terme original en anglais.

[474] James J. GIBSON, "The Theory of Affordances" in Robert SHAW et John BRANSFORD *Perceiving, Acting, and Knowing: Toward an Ecological Psychology*, Lawrence Erlbaum Associates, New Jersey, 1977, p. 67-82.

[475] Erik F. CLARKE, *Ways of Listening: An Ecological Approach to the Perception of Musical Meaning*, New York, Oxford University Press, 2005.

[476] Cet aspect avait été déjà mis en lumière, en dehors du contexte musical, par Donald A. NORMAN, "Affordance, conventions, and design" in *Interactions*, 6(3), 1999, p. 38–43.

culture (par exemple frotter les cordes) et solliciter une action différente à un membre d'une autre culture. En d'autres termes, il peut y avoir une connaissance écologique des gestes musicaux liés à un instrument partagée par un certain groupe de personnes. Gødoy, par exemple, remarque le fait que les instruments traditionnels possèdent un repertoire spécifique de gestes musicaux liés au langage idiomatique de chaque instrument[477]. Les instruments présentent en effet des propriétés assez explicites et connues, basées tantôt sur l'ergonomie de l'instrument tantôt sur des codes culturels[478], qui d'une part délimitent les possibilités d'action entre l'instrument et le musicien, et de l'autre informent les attentes des auditeurs. Toujours selon Godøy, en écoutant attentivement la musique les gens récréent continuellement des simulations mentales de gestes de production sonore, en ajoutant des éléments moto-mimétiques à la perception et à la cognition de la musique. Cet aspect nous renvoie à la nature multisensorielle de l'expérience musicale et à l'articulation multimodale de notre système perceptif. Comme je l'ai montré lors du premier chapitre, la perception peut être décrite comme un réticule des sensations connectées dans lequel une certaine information sensorielle peut évoquer une sensation dans une autre modalité. La re-évocation des éléments kinesthésique liés à la production sonore pendant l'écoute de la musique ne fait que confirmer l'essence multimodale de la perception. En accord avec le principe de réversibilité, dont Merleau-Ponty parlait et qui est repris, au moins implicitement, par la cognition musicale incarnée sous forme de boucle action/perception, on peut également ajouter que non seulement les sons évoquent les gestes, mais les geste perçus pendant un concert interviennent dans la perception auditive en en modifiant la qualité. Certaines preuves empiriques confirment d'ailleurs cette hypothèse tout en remarquant comment les gestes de l'instrumentiste peuvent modifier la sensation du son chez l'auditeur[479].

Seulement dans les années dernières, de plus en plus d'études, soutenues par des preuves empiriques, ont commencé à se dérouler autour du fonctionnement du système sensori-moteur humain en rapport à

---

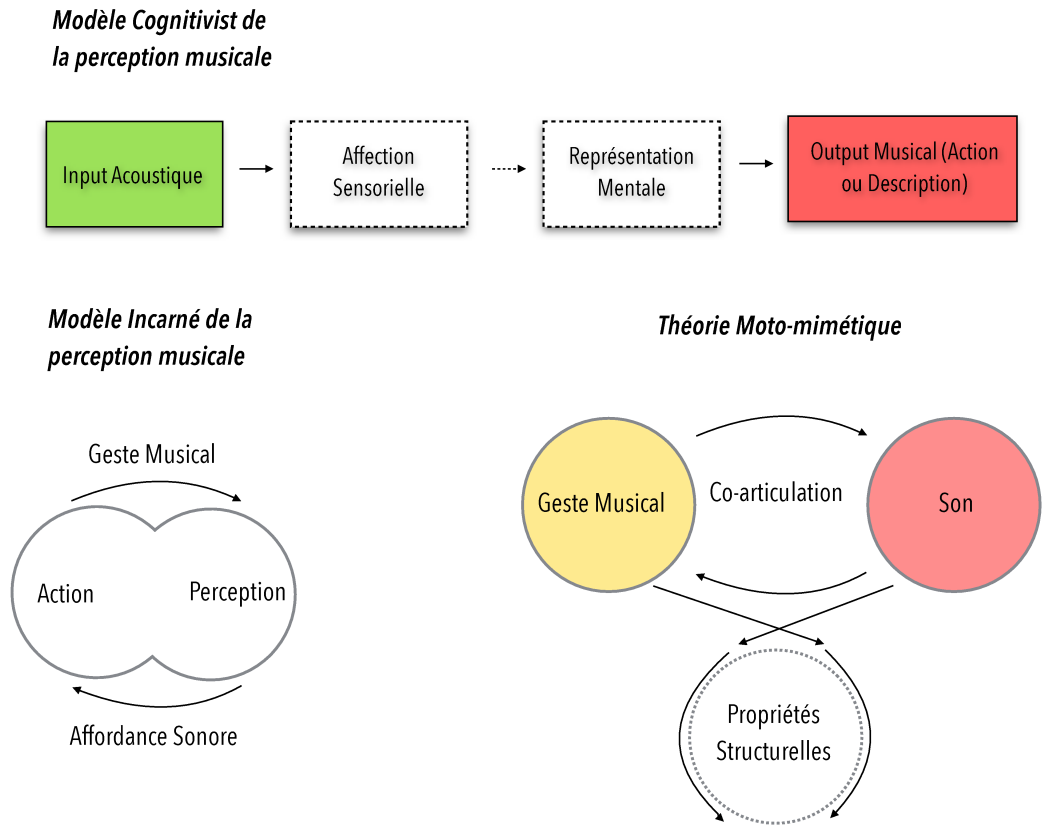
[477] Rolf I. GODØY, "Gestural Affordances of Musical Sound" in Rolf I. GODØY et Marc LEMAN (dir.), *op. cit.*, p. 103-125.

[478] Hardjowirogo parle à ce propos de « cultural emdeddedness » : Sarah-Indriyati HARDJOWIROGO, "Instrumentality. On the Construction of Instrumental Identity" in Till BOVERMANN et al. (dir.), *Musical Instruments in the 21st Century. Identities, Configurations, Practices*, Singapore, Springer Singapore, 2017, p. 9-24.

[479] Michael SCHUTZ et Scott LIPSCOMB, "Hearing gestures, seeing music: vision influences perceived tone duration" in *Perception*, 36(6), 2007, p. 888–897.

notre expérience de la musique et de l'environnement sonore. Concevoir la musique en tant que phénomène *énactif*, multimodal et incarné est une étape essentielle vers une analyse de la pratique musicale qui comprend le mouvement du corps parmi ses caractéristiques centrales. Dans ce contexte le rôle du geste semble avoir acquis une importance sans précédent.

Schéma 7 - Paradigmes de la Cognition Musicale Incarnée



5.4 Le geste musical

La notion de « geste » est aujourd'hui un concept clé dans la recherche musicale contemporaine, car elle fournit le pont conceptuel nécessaire entre le mouvement et la signification musicale. Comme il a été noté par Godøy[480], l'épistémologie sonore occidentale n'a pas élaboré, au moins traditionnellement, un cadre théorétique adapté à penser le geste en relation aux autres éléments de la syntaxe musicale. Cette négligence peut être attribué à la nature abstraite de l'épistémologie occidentale qui privilégie les éléments écrits du texte musical. Elle se relie d'ailleurs aux problématiques ontologiques que j'ai abordées au début de la thèse, à savoir la conception immatérielle et éphémère du phénomène vibratoire interprétant le son comme simulacre et non pas comme corps. Par conséquent, les nouvelles recherches sur les aspects incarnés de la musique ont suscité des réflexions inédites autour du rôle du geste dans l'expérience musicale. Au-delà des différentes approches méthodologiques qui caractérisent l'analyse et l'herméneutique du geste musical, certains éléments généraux peuvent être mis en lumière : 1. Les gestes fonctionnent de façon holistique et renvoient pourtant à d'autres univers sémantiques extra-musicaux. 2. Les gestes sont des unités immédiates dans la perception. 3. L'interaction est une caractéristique de la pragmatique du geste musical. 4. Les gestes musicaux sont nécessairement des phénomènes multimodaux. 5. Les gestes musicaux incluent des mouvements physiques non-sonores[481].

Tout cela implique que les gestes sont un véhicule structurel pour la construction de la signification musicale. Cependant, il apparaît également nécessaire que le terme soit soigneusement encadré et défini afin d'éviter toute ambiguïté. À ce propos, une contribution remarquable a été apportée dans les dernières années par la réflexion autour de l'interface et de l'interaction homme-machine. Comme nous l'avons précisé, en s'interrogeant sur la *compatibilité stimulus/réponse*, c'est-à-dire le degré de similitude entre les actions physiques effectuées sur le dispositif et les effets qu'elles produisent sous forme de rétroaction, la recherche autour de l'interface a contribué à approfondir la nature éminemment interactive de la boucle action/perception. En mettant en question la transparence de l'interaction entre énergie en entrée et énergie

---

[480] Rolf I. GODØY, "Gestural Affordances of Musical Sound", *op. cit.*

[481] Cf. Anthony GRITTEN et Elaine KING (dir.), *New Perspectives on Music and Gesture*, Farnham (England), Ashgate, 2011.

en sortie, la médiation technologique éclaire les caractéristiques fondamentales du geste[482]. Dans le contexte de l'interaction homme-machine deux éléments apparaissent assez évidents : 1. Le geste est un mouvement (principalement limité aux membres du corps) avec un but. 2. Le geste est un mouvement du corps qui contient des informations[483]. Cette perspective, typique dans les approches cognitivistes, sémiotiques et liés à la théorie de l'information ainsi qu'à la cybernétique, peut être synthétisée en affirmant qu'un geste est un mouvement dynamique du corps (ou une partie du corps) qui contient de l'information dans le sens de l'expression délibérée, tout en soulignant que la délibération différencie le geste du simple mouvement. Une telle définition peut être appliquée, dans une certaine mesure, au contexte musical[484].

D'ailleurs, il faut noter que cette définition limite la description qualitative du geste à sa seule fonction *sémiotique*, c'est-à-dire la transmission unidirectionnelle des informations de l'émetteur au récepteur qui, dans le contexte de la médiation technologique, est représenté par l'ordinateur. Dans ce cadre l'analyse du geste se concentre sur deux caractères : la finalité (le fait que le geste est orienté vers une tâche spécifique) et la signification (le fait que le geste soit porteur d'informations). Cette vision se reflète par exemple dans les taxonomies proposées par Bernard Rimé et Loris Schiaratura[485] qui divisent le geste en unité

---

[482] Voir à ce propos Ram P. Sharma et and Gyanendra K. Verma, "Human Computer Interaction using Hand Gesture" in *Procedia Computer Science*, 54, 2015, p. 721-727

[483] Alejandro Jaimes et Nicu Sebe, "Multimodal human–computer interaction: A survey" in *Computer Vision and Image Understanding*, 108(1-2), 2007, p. 116-134

[484] Baptiste Caramiaux, Marco Donnarumma et Atau Tanaka, "Understanding Gesture Expressivity through Muscle Sensing" in *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 21(6), 2015, p. 1–26.

[485] Le geste *symbolique* est associé à des significations codifiés préalablement connues par le récepteur, le geste *déictique* fait référence aux geste qu'indiquent quelque chose, le geste *iconique* est utilisé pour produire des informations concernant les qualités formelles d'un objet (forme, poids, orientation), le geste *pantomimique* imite un mouvement particulier d'un instrument ou d'un objet. Cf. Bernard Rimé et Loris Schiaratura, "Gesture and speech" In Robert S. Feldman et Bernard Rimé (dir.), *Fundamentals of nonverbal behavior*, New York, Cambridge University Press, 1991, p. 239-281. Une classification similaire est celle proposée dans les mêmes années par David McNeill qui divise les gestes en iconiques, métaphoriques, déictiques et ce qu'il appelle les *beats gesture* (il s'agit de gestes répétitifs de la main qui ont pour but d'attirer l'attention sur des paroles significatives) : David McNeill, "Introduction" in David McNeill (dir.), *Language and gesture*, Cambridge (UK), Cambridge University Press, 2000, p. 1-10.

symbolique, déictique, iconique et pantomimique, ou par celle de Adam Kendon basée sur le continuum entre parole et représentation mimétique[486].

5.4.1 Les trois fonctions du geste

Une classification très originale, née dans le contexte de la médiation technologique, est celle proposée par Claude Cadoz au début des années 1990. Le travail de Cadoz a comme contexte d'origine le développement d'interfaces musicales et des systèmes interactifs pour la musique. Dans son texte précurseur, l'auteur définissait le geste expressif à partir de trois fonctions principales *sémiotique*, *ergotique* et *épistémique*[487]. 1. La fonction sémiotique du geste [*semiotic gesture*] consiste à communiquer des informations significatives. La structure du geste sémiotique est codifiée et conventionnelle, elle résulte pourtant de l'expérience culturelle partagée. 2.La fonction ergotique du geste [*ergotic gesture*] est associée à la notion de travail. Elle correspond à la capacité de l'être humain à transformer l'environnement par le biais de la manipulation. 3. La fonction épistémique [*epistemic gesture*] permet d'acquérir des informations de l'environnement, notamment par le biais de l'expérience tactile : en manipulant un objet nous pouvons apprécier sa structure, le matériau dont il est fait, son poids, etc. Dans cette perspective le geste se défini comme moyen d'action sur le monde physique aussi bien que comme moyen de communication informationnelle à double sens : un processus d'émission et de réception d'informations où les trois fonctions citées sont complémentaires et imbriquées. De ce point de vue, un élément assez intéressant est la perspective, je dirais écologique, qui régit l'interaction fonctionnelle. Le geste n'est pas conçu comme unité isolée mais en fonction de sa relation réciproque avec l'environnement, ce qui anticipe certaines thématiques cruciales de la cognition musicale incarnée. De plus, étant donné que la réflexion de Cadoz est issue du contexte de la conception d'interfaces pour l'interaction geste-son, ces définitions sont aisément

---

[486] Cf. Adam KENDON, *Gesture: Visible action as utterance*, Cambridge (UK), Cambridge University Press, 2004. Le texte de Kendon est en outre assez intéressant car l'auteur présente un panorama détaillé des différentes classifications proposées au cours du XX^{ème} siècle.

[487] Claude CADOZ, "Le geste canal de communication homme-machine. La communication instrumentale" in *Sciences Informatiques - Numéro Spécial: Interface Homme-Machine*, 13(1), 1994, p. 31-61.

applicables au geste musical[488] : la fonction épistémique fait référence, par exemple, au retour d'effort expérimenté par le musicien pendant l'exécution; la fonction ergotique s'exprime dans les modifications apportées à l'instrument par le biais du geste musical; la fonction sémiotique est l'événement sonore qui informe l'auditeur.

La classification de Cadoz présente, d'autre part, certains aspects critiquables. Tout d'abord la conception de l'indépendance des flux informationnels. Cette conception détermine une différence significative entre les « boucles de canaux de communication » principaux. Dans le canaux acoustique et visuel, il y a un flux d'information unidirectionnel entre l'environnement, ou l'objet/instrument, et l'agent. Dans le canal gestuel ce flux est bidirectionnel. Comme Cadoz le précise dans un travail plus récent[489], seul le canal gestuel peut jouer la fonction ergotique (ni le canal acoustique ni le canal visuel). La chaîne gestuelle, par contre, peut supporter tous les trois : épistémiques, quand par exemple, en touchant et en manipulant des objets physiques, nous obtenons des connaissances sur la qualité de leur surface, de leur formes, de leur poids, de leurs température, etc.; sémiotiques, lorsque, par exemple, nous faisons un signe de la main ou jouons une pièce musicale avec un instrument face à un auditeur; ergotique lorsque, par exemple, « nous insérons un clou » dans le mur « avec un marteau ». De plus, le canal gestuel peut jouer les trois fonctions en même temps et, dans certains cas, l'aspect ergotique est nécessaire pour que les fonctions épistémiques et / ou sémiotiques puissent être efficaces.

---

[488] Cf. Marcelo M. Wanderley, *Les Nouveaux Gestes de la Musique*, Paris, IRCAM (Rapport Interne), 1997, p. 13-15. Voir également Maria Christou, *Enaction, interaction multisensorielle : théorie, technologie et expériences pour les arts numériques*, Thèse de Doctorat en Ingénierie de la Cognition, de l'Interaction, de l'Apprentissage et de la Création, Université de Grenoble, Grenoble, 2014, p. 21-23.

[489] Claude Cadoz, "Interface, ergotic. Enaction and enactive interfaces : a handbook of terms" in Claude Cadoz et Anne Luciani (dir.), *Enaction and Enactive Interfaces: A Handbook of Terms*, Grenoble, ACROE, 2007, p. 164-167.

5.4.2 Geste instrumental

Un exemple typique d'une telle interaction est le *geste instrumental* avec un instrument de musique, « par exemple un violon où le violoniste doit interagir physiquement, par le biais de l'archet, avec les cordes », afin de percevoir, dans tout ses doigts, la vibration de l'instrument et de pouvoir enfin exprimer musicalement une signification. Le *geste instrumental* est une autre notion clé élaborée par Cadoz quelques ans avant que l'intérêt pour la question du geste en musique ne se généralise[490]. Selon l'auteur le geste instrumental est une modalité de communication spécifique au canal gestuel. Il s'applique à un objet matériel avec lequel le geste interagit physiquement. Dans le cadre de cette interaction, des phénomènes physiques différenciés se produisent dont les formes et les évolutions dynamiques peuvent être maîtrisées par le sujet. Ces phénomènes peuvent alors devenir les supports de messages visant à la communication. Cadoz classifie tous ces aspects du geste instrumental en trois catégories[491] : 1. *Geste d'excitation* : le geste d'excitation du corps résonant comme le geste du percussionniste sur la membrane de la percussion ou la pression exercée par le violoniste sur les cordes du violon par le biais de l'archet. Dans le premier cas il s'agit d'un geste d'excitation direct, dans le deuxième d'un geste d'excitation indirect. Le geste du percussionniste ou d'un harpiste sont, en outre, des gestes d'excitation instantanés (le son commence dès que le geste termine), le geste du violoniste avec l'archet est souvent un geste continu (le son coexiste avec le geste). Dans tout les cas, le geste d'excitation se caractérise pour la transmission d'énergie physique dans le son par la médiation de l'instrument. 2. *Geste de modulation* ou de *modification* : ces gestes ne produisent pas du son dans la mesure où il ne participent pas, en termes énergétiques, à l'excitation mécanique du corps résonant. Néanmoins ils modifient la qualité du son en agissant sur les propriétés de l'instrument. Ceux-ci peuvent être divisés en gestes de « modulation paramétrique », qui entraînent une variation de paramètres continue, comme par exemple ceux de la main gauche d'un violoniste, et en gestes de « modulation structurelle », qui modifient la structure d'un instrument, comme par exemple le changement de registres d'un orgue à tuyaux ou l'utilisation d'une sourdine avec la trompette. 3. *Geste de sélection* : c'est le geste qui

---

[490] Claude CADOZ, "Instrumental gesture and musical composition" in *Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC '88)*, Köln, Germany, 1988, p. 1–12.

[491] Ces catégories ont été reprises et élaborées dans Claude CADOZ et Marcelo M. WANDERLEY, "Gesture-Music" in Marcelo M. WANDERLEY et Marc BATTIER (dir.), *op. cit.*, p. 71-93.

fait un choix, une sélection entre divers éléments au moment du jeu, comme le geste de sélection des touches d'un piano. Il peut être divisé en geste de sélection séquentielle ou en geste de sélection parallèle. Cadoz différencie les gestes de sélection des gestes d'excitation et de modulation parce que il n'y a ici ni communication d'énergie ni modification de l'objet-instrument.

5.4.3 Une définition qualitative du geste musical

Dans un travail récent, Alexander Jensenius, Marc Leman, Rolf Godøy et Marcelo Wanderley, donnent un aperçu complet sur le terme "geste" afin d'éclairer ses utilisations dans la recherche musicale[492]. Reconnaissant les problèmes qu'un terme aussi large, et parfois vague, pourrait conduire, les auteurs proposent de définir le geste à partir de trois points de vue différents : 1. La *communication*; 2. Le *contrôle*; 3. La *métaphore*. 1. Dans la catégorie de la *communication*, le rôle des gestes est de transmettre des significations pertinentes pour les interactions sociales. L'accent est mis sur les aspects linguistiques et communicatifs du geste plutôt que sur le mouvement du corps lui-même. Il s'agit de ce que j'ai défini comme la fonction sémiotique du geste. Les classifications proposées par Kendon, McNill et Schiaratura, qui se basent substantiellement sur la référence à la parole et au langage naturel, rentrent clairement dans cette catégorie. 2. Du point de vue du *contrôle*, le geste se rattache principalement à sa fonction ergotique. Les gestes instrumentaux sont, en ce sens, des gestes de contrôle permettant de générer et de modifier des sons par le biais de la manipulation d'un corps-médiateur tels que l'instrument de musique. Ce que je trouve très intéressant dans le choix du terme "contrôle" par les auteurs est la référence implicite au domaine de la médiation technologique. Le contrôle renvoie en effet à l'interaction contrôlée avec un processus d'automation qu'on apprend à maitriser par le biais de la rétroaction sensorielle. Ici, les gestes sont donc conçus comme des éléments d'un système d'interaction. Par cela il ne sous-entend pas seulement la fonction ergotique (la manipulation d'un corps résonant audionumérique) mais aussi une fonction sémiotique : par exemple, dans les gestes d'interaction homme-ordinateur, les mouvements du corps transportent des informations qui peuvent être traitées et reconnues par un système de capture de

[492] Alexander R. JENSENIUS et al., "Musical gestures : concepts and methods in research" In Rolf I. GØDOY et Marc LEMAN (dir.), *op. cit.*, p. 12-35.

mouvement. D'ailleurs les *feedbacks* constituent un élément épistémique dans le processus de maîtrise de l'interaction. 3. Les gestes revêtent en outre une fonction *métaphorique* lorsqu'ils projettent le mouvement physique, le son, ou tout autre type de perception du geste, sur des processus culturels. Ici, les gestes sont des images mentales ou des représentations évoquées à partir d'actions observables et / ou de sons musicaux, issues de processus cognitifs et sociaux. En musique, par exemple, le terme geste peut se référer aux qualités expressives et morphologique d'un son[493] ou aux significations évoquées par la musique[494].

Jensenius, Leman, Gødoy et Wanderley proposent en outre une classification fonctionnelle du geste musical en partant de la réélaboration et de la combinaison des catégories proposées par Delalande, Cadoz et Wanderley. Quatre catégories principales sont ainsi identifiées : les gestes producteurs de son, les gestes facilitants, les geste d'accompagnement et le gestes communicatifs. 1. « Les gestes de production sonore » [*sound-producing gestures*] sont étroitement impliqués dans la production du son. Ils sont appelés *gestes effecteurs* par Delalande, et ils coïncident avec les *gestes instrumentaux* de Cadoz. D'après Cadoz, ces gestes peuvent être subdivisés en gestes d'excitation (par exemple frotter une corde ou frapper une touche) et gestes de modification (ne produisant pas de son par eux-mêmes mais affectant sa qualité, par exemple les pédales du piano).

2. « Les gestes facilitant » [*sound-facilitating gestures*] sont des gestes auxiliaires que ne sont pas directement impliqués dans la production du son. Néanmoins ils fournissent un soutien dans la construction des gestes de production sonore, en influençant indirectement le son résultant. En effet, étant le corps un

---

[493] Voir par exemple l'utilisation du terme "geste" dans la phénoménologie de l'objet sonore de Pierre Schaeffer. À ce propos Dennis Smalley précise : « The notion of gesture as a forming principle is concerned with propelling time forwards, with moving away from one goal towards the next goal in the structure – the energy of motion expressed through spectral and morphological change. Gestural music, then, is governed by a sense of forward motion, of linearity, of narrativity. The energy– motion trajectory of gesture is therefore not only the history of an individual event, but can also be an approach to the psychology of time » in Dennis SMALLEY, "Spectromorphology: explaining sound-shapes " in *Organised Sound*, 2(2), Cambridge University Press, 1997, p. 107–126.

[494] Cf. Robert S. HATTEN, "A Theory of Musical Gesture and its Application to Beethoven and Schubert" in Anthony GRITTEN et Elaine KING (dir.), *Music and Gesture*, Farnham (England), Ashgate, 2006, p. 1-23.

système complexe, de nombreux gestes de soutien (même s'ils sont très subtils) sont souvent nécessaires pour qu'un geste sonore se produise. Par exemple, frapper une touche d'un piano implique non seulement le mouvement du doigt actif, mais aussi le mouvement de la main, des bras et de la partie supérieur du corps. En fait, ce sont les mouvements préparatoires de ce système complexe qui déterminent la trajectoire et la vitesse du doigt avant et après qu'il touche le clavier. D'autres types de gestes facilitants sont les gestes "phrasés". Il s'agit de gestes étroitement liés aux phrases jouées dans la musique et font partie intégrante de la performance. Un exemple est le mouvement du pavillon de la clarinette en situation de jeu. Wanderley définit ces gestes typiques du clarinettiste comme "ancillaires"[495]. D'autres gestes sont les gestes "d'entrainement", comme tapoter un pied ou se déplacer en synchronisation avec la musique. Ces gestes aident le musicien à suivre le rythme - ce qui facilite les performances - et ils peuvent en plus soutenir l'interaction avec d'autres musiciens et enrichir l'expérience des auditeurs. Bien qu'ils soient moins définis que les gestes de production, ils sont pourtant porteurs de l'expressivité de l'interprète[496].

3. « Les gestes d'accompagnement » [*sound-accompanying gestures*] se distinguent des deux catégories précédentes puisqu'ils n'ont aucun rôle, qu'ils soit direct ou indirect, dans la production du son. Il s'agit de gestes effectués en réaction à un *stimulus* sonore et qui pourtant s'adaptent aux caractéristiques de la musique. L'exemple le plus évident sont les mouvement de danse. Des études expérimentales ont été conduites sur la façon dont les mouvements des danseurs interprètent des qualités spécifiques de la musique[497]. D'autres exemples sont les gestes effectués afin d'imiter de manière expressive les gestes d'un instrumentiste ou de représenter les qualités structurales d'un son[498]. Un autre type de geste

---

[495] Marcelo M. WANDERLEY et Bradley W. VINES "Origins and functions of clarinettists' ancillary gestures" in Anthony GRITTEN et Elaine KING (dir.), *Music and Gesture*, *op. cit.*, p. 166-191. Il faut toutefois préciser que Wanderley emploie l'expression "gestes ancillaires" pour désigner tout geste facilitant et non seulement les gestes phrasés.

[496] Cf. Sofia DAHL et al., "Gestures in Performance" in Rolf I. GØDOY et Marc LEMAN (dir.), *op. cit.*, p. 36-68.

[497] Carmine CASCIATO, Alexander R. JENSENIUS et Marcelo M. WANDERLEY, "Studying free dance movement to music" in *Proceedings of ESCOM 2005 Performance Matters! Conference*, Porto, Portugal, 2005; Egil HAGA, *Correspondences Between Music and Body Movement*, Thèse de Doctorat en Musicologie, University of Oslo, Oslo, 2008, p. 169-204.

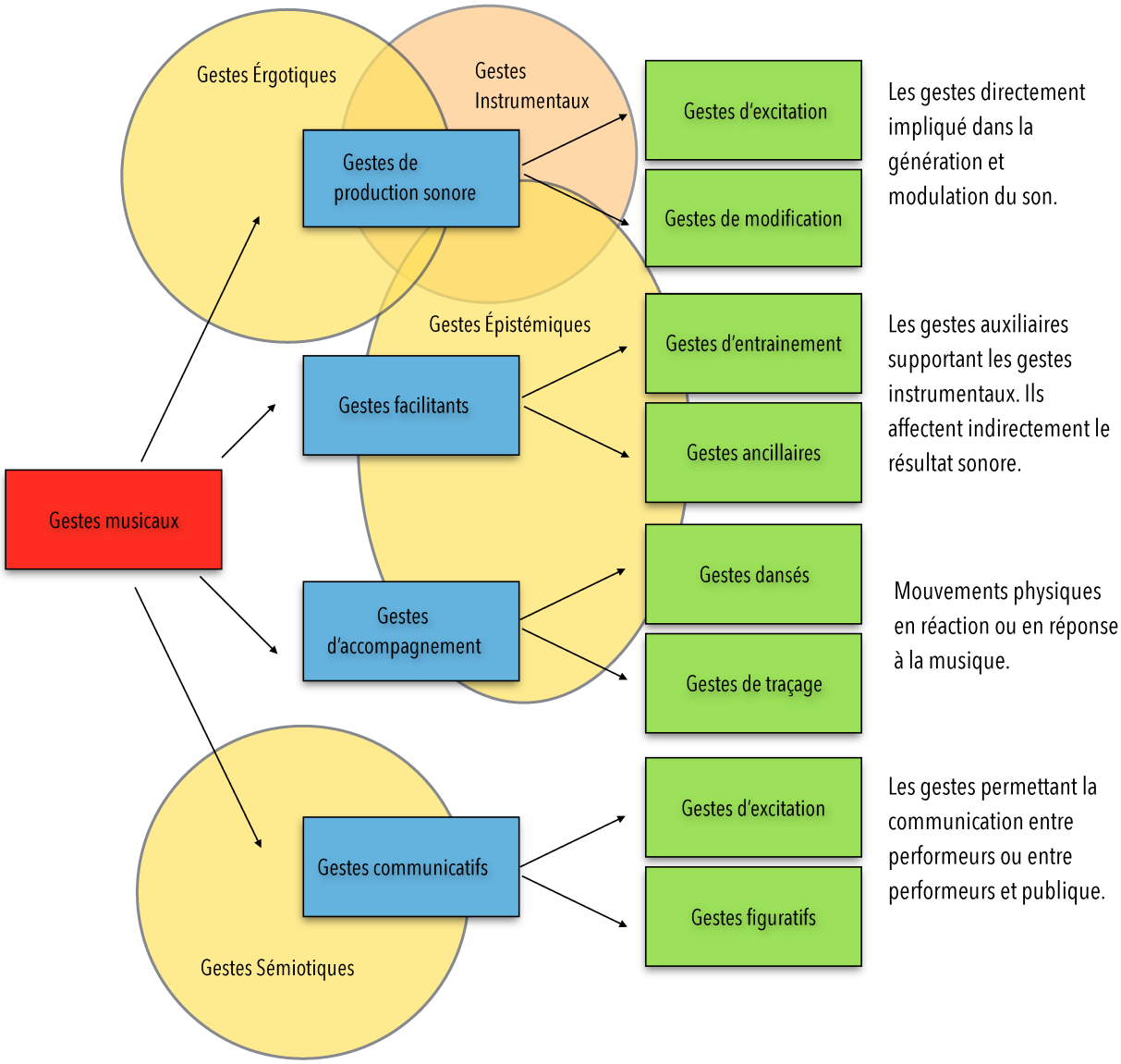
[498] Rolf I. GODØY, Egil HAGA et Alexander R. JENSENIUS, "Playing « air instruments » : mimicry of sound-producing gestures by novices and experts" in Sylvie GIBET, Nicolas COURTY et Jean-François KAMP (dir.), *Gesture in Human-Computer Interaction and Simulation*, Berlin-Heidelberg, Springer, 2006, p. 256-267.

d'accompagnement est ce qu'on pourrait appeler le "traçage du son" [*sound tracing*], c'est-à-dire le geste de représenter une ou plusieurs caractéristiques importants du son, par le biais du mouvement de la main dans l'air. Cette méthode est utilisée dans des contextes analytiques où on invite les gens à "tracer des sons" avec un stylo numérique sur une tablette graphique[499].

4. Les gestes communicatifs [*communicative gestures*], sont destinés principalement à la communication entre interprètes ou entre *performeurs* et auditeurs. Bien que l'on puisse dire que tous les gestes sont dans une certaine mesure des gestes communicatifs, cette catégorie est spécifiquement destinée aux gestes dont la fonction est principalement de véhiculer des messages extra-musicaux, par exemple des expressions faciales ou des signes faits dans le contexte de la performance pour signaler un changement ou une synchronisation. Ceux-ci, rentrent donc dans la fonction sémiotique. D'autres gestes expressifs, comme le fait de lever la main de manière théâtrale avant de frotter une corde sur une guitare, ou tout autre geste non-musical concernant l'interprétation (qui appartient donc au répertoire personnel de chaque *performeur*) rentre également dans la catégorie des gestes communicatifs. Delalande appelait à juste titre ces formes de communication gestuelles des gestes figuratifs.

[499] Rolf I. GODØY, Egil HAGA et Alexander R. JENSENIUS, "Exploring music-related gestures by sound-tracing: a preliminary study" in Kia NG (dir.), *Proceedings of the 2nd International Symposium on Gesture Interfaces for Multimedia Systems*, Leeds, UK, 2006, p. 27-33.

Schéma 8 - Catégories fonctionnelles du geste musical



5.5 Au-delà de l'extension : la reconfiguration comme nouveau paradigme pour la médiation technologique

Comme on l'a vu, l'utilisation de technologies interactives permet de repenser la relation son-mouvement selon des perspectives inédites. Cette rupture épistémologique se déroule à travers un processus de déterritorialisation qui amène d'une part à intégrer dans la pragmatique musicale des nouvelles typologies d'interaction corporelle, et de l'autre à reconfigurer le geste musical dans une multiplicité de gestes sonores. Selon Marc Leman la médiation technologique doit être conçue comme une extension du corps. Pourtant elle doit refléter la connexion intime entre les intentions de l'action humaine et l'énergie exprimée physiquement par le mouvement. La cognition musicale incarnée peut fournir un modèle à partir duquel il est possible de développer une vision écologique de l'environnement technologique tout en favorisant la sensation de présence et de non-médiation. Comme je l'ai précisé à plusieurs reprises, l'interaction avec l'interface est efficace lorsqu'elle devient transparente ou, dirait Marc Leman, lorsqu'elle devient une extension de cel médiateur naturel qu'est le corps humain[500]. Cette transparence est une condition essentielle de l'interaction entre musicien et instrument de musique. Selon la perspective de la cognition incarnée, l'instrument de musique est incorporé par le musicien en représentant ainsi une extension naturelle de son corps. Grâce à cette connexion intime, la sensation de médiation disparaît et l'interprète peut communiquer musicalement directement à partir d'une pragmatique corporelle. Le son, et avec lui l'expressivité musicale, deviennent idéalement un écho du mouvement. Ce paradigme de l'instrument comme extension n'est d'ailleurs pas une conception totalement inédite. Merleau-Ponty l'a illustrée en décrivant le fonctionnement des schémas corporels dans le cas du bâton d'une personne aveugle. Le bâton n'est pas un objet extérieur pour l'homme qui le porte. Plutôt, le bâton est pour l'homme aveugle une extension physique du toucher. Cela se traduit par le fait que le bâton devient une source d'information supplémentaire sur la position des membres et de l'espace qui l'entoure,

[500] Cf. Luc NIJS, Micheline LESAFFRE et Marc LEMAN, "The musical instrument as a natural extension of the musician" in Michele CASTELLENGO, Hugues GENEVOIS et Jean-Michel BARDEZ (dir.), *Music and its instruments*, Sampzon (France), Editions Delatour, 2013, p. 467-484.

et donc, grâce à un processus d'apprentissage et d'entraînement, il est intégré dans les schémas corporels[501]. Le bâton est donc converti en une partie sensible du corps qui complète le sens proprioceptif. Dans un des très rares passages que Merleau-Ponty consacre à la musique, le philosophe précise que, dans l'expérience d'un musicien qui joue, il y a « un son objectif qui résonne hors de moi dans l'instrument, un son atmosphérique qui est entre l'objet et mon corps, un son qui vibre en moi "comme si j'étais devenu la flûte ou la pendule"; et enfin un dernier stade où l'élément sonore disparaît et devient l'expérience, d'ailleurs très précise, d'une modification de tout mon corps »[502]. Entre son, corps et instrument se développe, donc, un entrelacs. L'instrument de musique est ressenti de l'intérieur en devenant ainsi une composante organique du corps. Cela signifie que l'instrument est intégré dans l'anatomie virtuelle du *performeur* et qu'il prend part à l'organisation perceptive du geste. Les mouvements spécifiques aux instruments sont pourtant des constituants de la structure dynamique du corps et font donc partie du savoir-faire somatique du musicien.

En prolongeant la notion "d'instrument comme extension[503]" Andy Clark développe une théorie de la "connaissance étendue", en suggérant que les instruments servent de structures dynamiques sur lesquels les processus cognitifs sont déchargés. De cette façon, l'esprit s'étend au-delà du corps propre pour inclure les outils, les symboles et d'autres parties de l'environnement que nous déployons pour produire des significations culturelles et s'engager avec le monde[504]. Thor Magnusson retraduit l'hypothèse de Clark en termes musicaux en affirmant que les instruments de musique agissent comme des extensions cognitives. L'auteur souligne, en particulier, que les objets technologiques ne sont jamais neutres, mais qu'ils contiennent des codes auxquels nous adhérons selon notre constitution idéologique[505]. En d'autres termes,

---

[501] Maurice MERLEAU-PONTY, *Phénoménologie de la Perception*, *op. cit.*, p. 168.

[502] *Id.*, p. 262-263.

[503] L'idée du medium comme extension du corps est d'ailleurs une des idée centrales de l'élaboration théorique de Marshall McLuhan. Infra

[504] Andy CLARK, *Supersizing the Mind : Embodiment, Action, and Cognitive Extension*, New York, Oxford University Press, 2008.

[505] Thor MAGNUSSON, "Of Epistemic Tools: musical instruments as cognitive extensions" in *Organised Sound*, 14(2), Cambridge University Press, p. 168-176.

un instrument de musique est un convoyeur de connaissances et notre cognition étendue pense à travers lui. Un aspect intéressant de la réflexion de Merleau-Ponty était l'importance donnée à "la modification du corps" apportée par l'instrument. L'instrument impose des modalités perceptives inédites que l'organisme intègre à travers un processus de transformation du « schéma corporel » (nous préférons les expressions "anatomie virtuelle du corps"). Magnusson, d'ailleurs, parle du fait que le corps adhère aux codes présents dans l'instrument. Luc Nijs, Micheline Lesaffre et Marc Leman, soulignent également que les contraintes matérielles et fonctionnelles de l'instrument imposent une posture et des mouvements spécifiques auxquels le corps s'adapte. Par conséquent, le processus d'incorporation n'implique pas seulement l'intégration de la structure de l'instrument dans l'organisation perceptive du mouvement. Incorporer présuppose également une modification de la corporéité. Cette modification momentanée de la corporéité est normalisée grâce la pratique de l'instrument : en acquérant des capacités somatiques liées au geste technique, je peux accéder à « l'illusion perceptive de la non-médiation »[506].

Les processus d'incorporation ont toujours eu une signification particulière dans le cadre du numérique. Étant données ses caractéristiques structurelles (représentation, modularité, automation et *transmédialité*), l'interface numérique est un processus ouvert, un *apparatus* qui impose une interrogation perceptive continue. Comme on l'a vu, la rétroaction sensorielle de l'interface n'est pas la simple réponse à un geste de production sonore. Le *feedback* est tout d'abord une sonorisation de l'activité physique. C'est par cela que l'interaction sonore informe le *performeur* à propos du processus d'organisation perceptive du mouvement. Concevoir la médiation technologique comme simple extension néglige en effet la deuxième composante de l'interaction son-mouvement, à savoir le processus d'intensification. Si d'une part l'interface étend effectivement les capacités de contrôle de l'être humain (la possibilité de générer du son par le biais des capteurs), de l'autre elle introduit de nouvelles modalités d'acquisition somatique d'informations. Comme on la vu, la captation du mouvement permet, par exemple, de sonoriser les micro-mouvements ou les mouvements involontaires en rendant audibles des aspects physiologiques qui ne seraient pas autrement perceptibles. Évidemment il s'agit d'une tendance générale de l'interactivité sonore qui change selon les

---

[506] Luc NIJS, "The Merging of Musician and Musical Instrument. Incorporation, Presence, and Levels of Embodiment" in Micheline LESAFFRE, Pieter-Jan MAES et Marc LEMAN (dir.), *op. cit.*, p. 49-57.

dispositifs. Comme on l'a vu, les différents paradigmes d'interface sonore indiquent des degrés divers de déterritorialisation : aux deux extrêmes nous avons les interfaces ressemblant aux instruments et les systèmes agissant directement sur les qualités du mouvement. Dans le premier cas, le processus d'extension est prédominant, dans le deuxième l'intensification joue un rôle principal. Dans les deux cas, néanmoins, la rétroaction sonore informe sur la qualité de l'activité physique et impose une prise de conscience somatique des processus d'organisation du mouvement. Différemment d'un instrument de musique, les interfaces sonores sont des *apparatus*, c'est-à-dire des moyens de production et, en même temps, des outils de connaissance. Par le biais de la rétroaction, la médiation technologique permet, en ce sens, de dessiner une nouvelle cartographie sensorielle et perceptive du corps en donnant ainsi au *performeur* la possibilité d'expérimenter « différents niveaux de présence »[507]. Dans cette perspective les technologies interactives ne représentent pas vraiment une augmentation du corps mais plutôt une stimulation de son potentiel de transformation.

Si l'adaptation (souvent irréfléchie) de l'anatomie corporelle à l'instrument est fonctionnelle dans la production sonore, dans le cas de l'interface elle est une possibilité de reconfiguration consciente (non pas un acte purement volitif et mental mais plutôt un processus somatique). Cette reconfiguration peut être un processus induit comme dans le cas de *Osmose* de Char Davies où la corporéité de l'*interacteur* se déterritorialise dans l'environnement à partir des aspect physiologiques subtils (l'équilibre et la respiration). Elle peut être un acte totalement délibéré comme dans la transformation du corps de Stelarc. Ou encore, elle peut se faire à l'interne d'un processus intuitif comme dans la relation entre sonorisation des impulsions électriques, geste et proprioception chez Atau Tanaka. Cette reconfiguration peut, naturellement, s'accompagner de pratiques instrumentales plus traditionnelles en créant un contexte encore plus stratifié. Otso Lähdeoja, Joseph Malloch et Marcelo Wanderley, par exemple, ont conduit une étude sur la sonorisation directe des gestes ancillaires et des gestes d'accompagnement au sein de la pratique

[507] Enrico PITOZZI, "Perception et sismographie de la présence", *op. cit.*, p. 244.

instrumentale de la guitare électrique[508]. Le système employé exploite une surface équipée avec des capteurs de pression FSR permettant d'analyser les mouvements longitudinaux de la tête ainsi que la distribution du poids. Ces descripteurs de mouvement sont utilisés comme paramètres pour modifier le son produit par le guitariste. Les gestes ancillaires ou d'accompagnement (comme bouger la tête ou suivre le tempo avec les pieds) deviennent ainsi des gestes, bien qu'indirects, de production sonore. Cela n'a pas seulement des conséquences en termes sonores. En recevant un *feedback* auditif, le musicien peut décider de construire le geste soit sur la base des schémas habituels soit en exploitant cette nouvelle source d'information qu'est la rétroaction sonore produite par les gestes secondaires. Dans ce contexte le cadre théorique offert par la cognition musicale incarnée permet, par exemple, d'étudier les dynamiques de construction du geste en rapport à cette nouvelle boucle perception/action. Les théories incarnées permettent d'ailleurs d'orienter la conception et le design elle-même de la médiation technologique. Lors d'une expérimentation récente, Federico Visi, Rodrigo Shramm et Eduardo Miranda, se sont intéressés à la sonorisation des mouvements facilitants et communicatifs toujours dans le cas de la guitare électrique. Le cadre d'analyse est par contre assez différent[509]. Federico Visi, Rodrigo Shramm et Eduardo Miranda, utilisent des dispositifs embarqués sur les poignets (accéléromètre et capteur de flexion) et un système de captation optique (Kinect). Leur analyse se base sur la détection des mouvements du poignet gauche, supportant l'appui des doigts sur les cordes (geste facilitant), ainsi que des gestes expressifs de la mains droite qui suivent l'exécution d'un accord. Il s'agit, en particulier, d'une analyse périodique de la quantité de

---

[508] Otso LÄHDEOJA, Marcelo M. WANDERLEY, Joseph MALLOCH, "Instrument augmentation using ancillary gestures for subtle sonic effects" in *Proceedings of the SMC 2009 - 6th Sound and Music Computing Conference*, Porto, Portugal, 2009, p. 327–330. Un étude similaire a été conduit, toujours par Wanderley, dans le cadre du mapping des gestes ancillaires d'un clarinettiste : Florian GROND et al., "Methods for Effective Sonification of Clarinetists' Ancillary Gestures" in Stefan KOPP et Ipke WACHSMUTH (dir.), *Gesture in Embodied Communication and Human-Computer Interaction*, Berlin, Springer-Verlag, 2010, p. 171-181.

[509] Federico VISI, Rodrigo SCHRAMM et Eduardo MIRANDA, "Gesture in performance with traditional musical instruments and electronics: Use of embodied music cognition and multimodal motion capture to design gestural mapping strategies" in *MOCO 14: Proceedings of the International Workshop on Movement and Computing*, Paris, France, 2014.

mouvement (*PQoM*[510]). En partant d'une approche écologique, le traitement électronique du son s'inspire de la fonction spécifique du geste. Les gestes avec la main gauche, étant des gestes fatiguant, ils sont connectés à la réduction de la qualité du son. Les gestes avec la main droite, étant des gestes qui simulent figurativement la durée du son, sont liés au temps de réverbération du son. Cela permet d'avoir une rétroaction sensorielle cohérente (en termes de signification sonore) par rapport à la fonction spécifique du geste. Comme souligné par les auteurs, un tel cadre permet par exemple de redessiner le rapport entre automatismes inconscients et mouvements délibérés tout en partant d'un répertoire de gestes connus. La reconfiguration de la relation corps-son s'articule donc à partir d'une connaissance fonctionnelle de l'organisation perceptive du mouvement.

Une autre possibilité consiste à utiliser des techniques de sonorisation directe ou d'« *audification* »[511]. Il s'agit d'amplifier les signaux captés en les transformant directement en données audibles. J'ai déjà déjà fait référence au un travail d'*audification* en parlant de la pièce *Onde de choc* (2010) de la chorégraphe canadienne Ginette Laurin. Une partie du paysage sonore du travail trouve son origine dans la sonorisation du rythme cardiaque des danseurs ainsi que du contact entre leurs corps et la scène (équipée avec des microphones piézoélectriques). Ces éléments organiques deviennent donc une trace corporelle audible projetée dans l'espace acoustique (par le biais d'un système de spatialisaiton). Ce genre de sonorisation du mouvement permet de penser l'anatomie corporelle en termes acoustiques en induisant un degré très intime de connexion entre l'image sonore du corps (les techniques d'amplification et de sonorisation) et l'image corporelle du son (la qualité organique du timbre acoustique). Sur la base de ces données *audiotactiles* le mouvement peut être organisé d'une manière inédite en s'inspirant du profil acoustique du

---

[510] Inspirée par la "quantité de mouvement" (*QoM)*, introduite par Antonio Camurri, la *PQoM* est un descripteur de mouvement utile pour observer comment le mouvement se rapporte aux aspects rythmiques de la musique. La *PQoM* est calculée en subdivisant les données issues de la captation 3D du mouvement en composantes de fréquence. Les fréquences des filtres correspondent aux subdivisions du rythme musical de la performance analysée. Cf. Federico VISI, Rodrigo SCHRAMM, Eduardo R. MIRANDA, "Gesture in performance with traditional musical instruments and electronics: Use of embodied music cognition and multimodal motion capture to design gestural mapping strategies" in *MOCO '14: Proceedings of the 2014 International Workshop on Movement and Computing*, Paris, France, 2014.

[511] Florian DOMBOIS et Gerhard ECKEL, "Audification" in Thomas HERMANN, Andy HUNT et John G. NEUHOFF (dir.), *The Sonification Handbook*, Berlin, Logos Publishing House, 2011, p. 301–324.

son[512]. Un autre exemple remarquable de sonorisation directe est le travail de Marco Donnarumma. Les interfaces créés par l'artiste-chercheurs lui permettent d'analyser et de sonoriser les signaux produits par la captation mécanique de la contraction des muscles (MMG). En se contractant, les muscles produisent des oscillations à basse fréquences qui sont ici amplifiées et traitées électroniquement. Dans *Corpus Nil* (2015) le *performeur* assume des positions contraignantes sur scène afin d'expérimenter différentes manières de distribuer la tension musculaire dans le corps. Un aspect intéressant du travail est que les contrantes physiques imposées en termes de posture permettent d'élaborer des stratégies de reconfiguration du mouvement qui se basent sur le flux informationnel auditif :

> « With 'reorganisation' I mean that the parts of my body literally change function. My neck takes up the function of a leg and supports my whole body on the floor. The arms become two legs, which allow the body to move forward. The back turns into a chest, it breathes and hold the limbs together. What enables the body to reorganise its parts is its particular configuration with the instrument and the context. The body's position on the stage floor changes according to the musical and aesthetic goals of the piece, and it is influenced by both the audible sounds produced by the instrument and the acoustic resonance of the stage floor, which the body perceives as a tangible vibration on the skin. »[513]

Ces exemples montrent comment la sonorisation du geste peut induire une réorganisation du mouvement en introduisant une sorte de "déstabilisation" à l'interne d'une hiérarchie anatomique-acoustique préétablie (à l'instar du répertoire somatique-auditif du musicien). L'intérêt de ces expérimentations consiste à reconfigurer le canal d'information sensorielle (le son) en restituant une trace de l'organisation corporelle. Tous ces exemples nous montrent donc comme l'horizon actuelle des nouvelles technologies permet de solliciter la prise de conscience des processus de transformation qu'articulent l'anatomie corporelle. Par cela le son s'avère être une source informationnelle importante capable de

---

[512] Cf. Enrico PITOZZI, "Résonances organiques: perception, corporéité, dispositifs audiovisuels. Conversation avec Ginette Laurin" in *Archée*, 2013, URL : http://archee.qc.ca/ar.php?page=article&no=448.

[513] Marco DONNARUMMA, *Configuring Corporeality. Performing Bodies, Vibrations and New Musical Instruments*, Thèse de Doctorat en Music Computing, Goldsmith University, London, 2016, p. 203

suggérer des stratégies d'organisation perceptive et de composition du mouvement inédites.

Chapitre 6

Étendre la conscience du corps.

Nouvelles technologies pour la pédagogie du mouvement.

6.1 Analyse du mouvement et médiation technologique

Dans le chapitre précédent j'ai analysé la manière dont une perspective incarnée permet de comprendre l'expérience musicale en relation au corps et au mouvement. J'ai également montré comment la médiation technologique et le *feedback* sonore permettent de prendre conscience de la structure stratifiée du mouvement en produisant ainsi une réorganisation de l'anatomie corporelle. Dans ce chapitre, je vais approfondir la thématique du "dispositif" en portant l'attention sur les pratiques d'analyse et de pédagogie du mouvement liées à la médiation technologique et à l'interaction avec la musique. À ce propos, je voudrais m'attarder d'abord sur certaines expériences phares, pour ensuite introduire des exemples pratiques de développement de dispositifs interactifs dans le cadre pédagogique. La dernière partie du chapitre, consacré à la présentation d'une étude de cas, nous permettra d'ailleurs d'anticiper l'approche proposée dans la troisième partie de la thèse, entièrement centrée sur l'analyse des pratiques créatives.

Comme on l'a vu dans les chapitres précédents, les systèmes de captation ont acquis un rôle majeur au sein de l'analyse et de l'étude du mouvement. Certaines des applications présentées, comme le *EyesWeb* de l'InfoMus Lab de l'Université de Gênes ou les *MotionFollower* de l'IRCAM, se caractérisent en effet par une double finalité en étant des outils pour l'analyse et l'interprétation du mouvement, et/ou du geste, ainsi que des médias puissants pour la création artistique. Récemment ces plateformes ont également trouvé une utilisation dans d'autres domaines liés à l'analyse du mouvement comme le *e-learning* (formation URL :), les applications interactives pour la diffusion de l'héritage culturel, les thérapies de rééducation motrice, l'*exercegaming* (jeux vidéos dédiés à l'activité physique) et la pédagogie[514]. Le cas de l'étude du mouvement appliqué à la danse est particulièrement intéressant. Dans ce contexte, deux tendances principales peuvent être observées. Une première approche pourrait être définie comme plus "analytique" et se concentre sur le développement de systèmes de captation du mouvement ainsi que sur des modèles d'analyse destinés à l'étude quantitative des qualités du mouvement. Dans ce cadre, le mouvement est analysé selon des méthodes d'analyse statistique (comme les modèles markoviens *HMM* dans le cas de la poursuite du geste) ou fonctionnels (comme la quantité de mouvement *QoM*) permettant d'extraire des descripteurs de niveau intermédiaire (à l'instar du degré de symétrie du corps) ou de haut niveau (par exemple le degré de la

[514] Cf. Antonio CAMURRI et Gualtiero VOLPE, "The Intersection of Art and Technology" in *IEEE MultiMedia*, 23(1), 2016, p. 10-17.

rigidité du corps). L'analyse de données permet d'évaluer, en termes quantitatifs, la nature expressive du geste ou par exemple la relation entre la qualité du mouvement et certains états émotifs communiqué par le biais du corps. Une telle approche est utilisée dans l'analyse du mouvement dansé[515] aussi bien que dans l'étude du geste musical[516]. Une deuxième approche, qu'on pourrait définir comme phénoménologique ou "somatique", s'intéresse principalement à la manière dont le *feedback* sensoriel produit une rétroaction sur le mouvement[517]. Dans ce cas la médiation technologique est utilisée pour stimuler le potentiel sensori-moteur du *performeur*, ou de l'*interacteur*, selon des principes d'extension et d'intensification. L'*interacteur* est alors en mesure de se concentrer soit sur le niveau « proprioceptif » habituel soit sur le niveau "externe", c'est-à-dire sur les retours sensoriels (visuels ou sonores) produit par le biais de l'interface. En d'autres termes, ces approches portent plutôt sur la conscience somatique de l'interaction avec la technologie en mesurant la capacité du *medium* à induire des modalités inédites de construction du mouvement et d'organisation perceptive de l'espace[518]. Les études de cas que je présenterai s'inscrivent dans cette deuxième démarche.

---

[515] Cf. Timothy R. Brick et Steven M. Boker, "Correlational Methods for Analysis of Dance Movements" *in Dance Research: The Journal of the Society for Dance Research*, 29, 2011, p. 283-304; Sarah F. Alaoui et al., "Dance Interaction with Physical Model Visualization based on Movement Qualities" in *International Journal of Arts and Technology*, 6(4),2013, p. 357-387.

[516] Pieter-Jan Maes et al. "The conducting master : an interactive, real-time gesture monitoring system based on spatiotemporal motion templates" in *International Journal of Human-Computer Interaction*, 29(7), 2013, p. 471-487; Federico Visi et al., "A practice-based study on instrumental gestures in music composition and performance: Kineslimina" in *MuSA 2015 - Sixth International Symposium on Music/Sonic Art: Practices and Theories*, Karlsruhe, Germany, 2015.

[517] Cf. Yi-Chun KO, "Espace sensible : une proposition d'expérience somatique à partir de la musique" in *RFIM,* 3, 2013, URL : http://revues.mshparisnord.org/rfim/index.php?id=262 Consulté le 30/09/2017.

[518] Cf., parmi d'autres, Susan Broadhurst, "Intelligence, interaction, reaction, and performance" in Susan Broadhurst et Josephine Machon (dir.), *op. cit.*, p. 141-152; Isabelle Viaud-Delmon et al., "A Sounding Body in a Sounding Space: the Building of Space in Choreography – Focus on Auditory-motor Interactions" in *Dance Research: The Journal of the Society for Dance Research*, 29, 2011, p. 433-449; Ivani Santana, "Experiences and reflections about presence and memory in dance with technological mediation through the situated cognition approach" in *Revista Mapa D2 - Dança e (performance) digital*, 3(2), 2016, p. 11-26. Bien qu'il ne soit pas basé sur l'utilisation de *feedback* en temps réel, le travail de Forsythe avec la technologie peut être considéré dans une perspective similaire. Voir William Forsythe, *op. cit*.

6.1.1 Pédagogie, nouvelles technologies et interaction sonore

En dehors de la pratique artistique professionnelle, un nombre croissant d'études s'intéressent également à l'apport de technologies interactives dans le contexte de la formation et notamment dans le cas de la pédagogie de la danse[519]. Initialement les technologies utilisées dans le domaine pédagogique étaient principalement des logiciels pour la composition chorégraphique assistée par ordinateur. Ceux-ci connaissent une certaine diffusion que vers la fin des années 1990[520]. Au cours des dernières quinze années, des pratiques technologiques assez différentes se sont diffusées au sein de la pédagogie de la danse : *e-learning* et supports multimédia, logiciels pour la notation chorégraphique et vidéo, conservation et transmission des répertoires traditionnels, approche multimodale à l'enseignement, etc[521]. Dans le cas de l'emploi de technologies interactives un rôle clé est joué par le *feedback* en temps réel. La rétroaction sonore ou visuelle peut ici être utilisée pour vérifier d'un point de vue perceptif la composition du mouvement. Les *feedbacks* peuvent être ainsi utilisés tantôt comme système de récompense tantôt comme canal

---

[519] Pour une panorama historique sur l'utilisation des nouvelles technologies dans la pédagogie de la danse je renvoie à Mila PARRISH, "Technology in Dance Education" in *International Handbook of Research in Arts Education*, Cham (Switzerland), Springer International, 2007, p. 1381-1397. Pour les applications plus récents voir également Aspasia DANIA et al., "The use of technology in movement and dance education: recent practices and future perspectives" in *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 15, 2011, p. 3355–3361.

[520] J'ai déjà parlé de *Life Forms* dans le deuxième chapitre. Sur son utilisation dans le domaine de la pédagogie voir Armando MENICACCI, "L'enseignement de la danse face au numérique", *op. cit.* . Parmi les logiciels pour la "composition assistée" plus récents on peut citer *The Dance Designer*, *Wholodance*, *The Choreographer's Notebook*, *Multimodal Video Annotator* et *DanceForms.*

[521] Cf. Gina CHERRY et al., "Using a digital video annotation tool to teach dance composition" in *Interactive Multimedia Journal of Computer. Enhanced Learning*, 5, 2003 : http://imej.wfu.edu/articles/2003/1/01/index.asp; Doug RISNER et Jon ANDERSON, "Digital Dance Literacy: an integrated dance technology curriculum pilot project 1" et Vicky KARKOU et al., "Traditional dance, pedagogy and technology: an overview of the WebDANCE project" in *Research in Dance Education* 9(2), 2008, p. 113-128 e 163-186. Pour une perspective plus générale sur l'enseignement des pratiques performatives, voir, en outre, Peter EVERSMAN, "Education-Performing arts-Information technology : an impossible triangle?" in Paolo NESI et Raffaella SANTUCCI (dir.), *Information technologies for performing arts, media access, and entertainment*, Berlin, Springer-Verlag, 2013, p. 175-191.

informationnel permettant d'expérimenter une modalité d'organisation perceptive inédite. Dans le premier cas, le *feedback* fonctionne comme « connaissance du résultat » [*knowledge of result*] dans le deuxième comme « connaissance de la performance » [*knowledge of performance*][522]. La première typologie de *feedback* informe sur l'accomplissement d'une tâche motrice. Elle peut être utilisée, par exemple, pour signaler la bonne réalisation d'un geste[523] ou un certain degré de symétrie du corps[524]. La deuxième typologie est employée pour donner des informations qualitatives ou quantitatives concernant le mouvement durant son exécution. Elle peut servir par exemple pour aider à réorienter la distribution du poids ou pour détecter le degré d'extension des membres non directement impliqué dans le mouvement[525]. Dans les deux cas le *feedback* permet d'accroître la conscience du corps et notamment de ces petits mouvements qui restent au-dessous du niveau habituel de perception. Cette dynamique s'avère être très intéressante en danse car elle permet de réorganiser le mouvement en dépassant ce que Hubert Godard appelle souvent la « névrose chorégraphique » :

> « Les routines, les répétitions d'habitudes sensorielles imposent à leur tour des habitudes gestuelles, des coordinations qui perdent leur plasticité. […] Il y a un ensemble de techniques qui permettent d'intervenir […] sur la perception de son propre corps, sur la réouverture des failles proprioceptives par le biais de capteurs du mouvement, ou d'électromyographes, posés sur la personne, et dont les informations enregistrées sont renvoyées au sujet sous forme de son ou d'image. »[526]

---

[522] Cf. Dhara SHARMA et al., "Effectiveness of knowledge of result and knowledge of performance in the learning of a skilled motor activity by healthy young adults" in *Journal of Physical Therapy Science*, Elsevier, 28(5), 2016, p. 1482–1486.

[523] Eric O. BOYER et al, "Learning Movement Kinematics with a Targeted Sound" in Mitsuko ARAMAKI et al., *Sound, Music, and Motion*, Cham (Switzerland), Springer International, 2014, p. 218-233.

[524] Cf. Antonio CAMURRI et al., "A system to support the learning of movement qualities in dance: a case study on dynamic symmetry" in *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, New York, ACM Press, 2016, p. 973-976.

[525] Armando MENICACCI et Emanuele QUINZ, "Étendre la perception? Transferts intermodaux et biofeedback en danse" in AAVV, *Nouvelles de danse : scientifiquement danse. Quand la danse puise aux sciences et réciproquement*, Bruxelles, Contredanse, 53, 2006, p. 76-96.

[526] Patricia KUYPERS, "Des trous noirs. Un entretien avec Hubert Godard" in Ivi, p. 62-63.

Les applications informatiques jouent un rôle de plus en plus important même dans le domaine de l'éducation musicale. De plus, le développement récent de contrôleurs de mouvement pour l'industrie des jeux-vidéos a rendu les technologies interactives plus accessibles. Comme de nombreuses études l'ont récemment démontré ces applications ont le potentiel de stimuler l'autonomie créative et expressive des étudiants tout en fournissant un environnement d'apprentissage riche et attrayant[527]. Il faut remarquer, en outre, que l'interaction avec les technologies permet d'élaborer une pédagogie musicale fondée sur la stimulation de la conscience corporelle. Alexander Jensenius, par exemple, propose une démarche pédagogique axée sur les technologies interactives et la création sonore en partant d'un modèle inspiré de cognition incarnée[528]. Le processus de conception et de développement des dispositifs interactifs et sonores, se déroule en fait en prenant en considération différents aspects liés à la nature écologique de la perception sonore et à son lien avec le mouvement. Les technologies permettent d'expérimenter de manière empirique et directe ce rapport tout en orientant la démarche créative des étudiants.

D'autres approches exploitent la technologie interactive pour créer un système de récompense dans le contexte de l'apprentissage musicale. En utilisant l'application *Motion Follower*, Frédéric Bevilacqua, Fabrice Guédy, Norbert Schnell, Emmanuel Flety et Nicolas Leroy, ont conduit une série d'expérimentation basées sur la relation entre reproduction du geste et retour sonore. En particulier, ils proposent des expérimentations destinées à apprendre des gestes liés à la direction de la musique[529]. Le système utilisé exploite un dispositif IMU (accéléromètre et gyroscope). L'étudiant dirige de la musique en suivant les consignes de l'enseignant. Grâce au système *motion follower* le geste réalisé, de manière intuitive par l'étudiant, est segmenté et synchronisé avec la bande sonore que l'étudiant est en train de diriger. De cette

---

[527] Pour une panorama général sur les différentes pratiques technologiques pour la pédagogie musicale je renvoie à l'ouvrage récente de Alex RUTHMANN et Roger MANTIE (dir.), *The Oxford Handbook of Technology and Music Education*, New York, Oxford University Press, 2017. Il convient de noter que l'emploi de technologies musicales interactives est encore une territoire assez peu exploré en représentant un domaine minoritaire de la recherche en pédagogie musicale.

[528] Alexander R. JENSENIUS, "An action-sound approach to teaching interactive music" in *Organised Sound*, 18(2), Cambridge University Press, 2013, p. 178-189.

[529] Cf. Frederic BEVILACQUA et al., "Wireless sensor interface and gesture-follower for music pedagogy", *op. cit.*

manière l'étudiant a un retour direct en termes sonores sur sa prestation. L'étudiant peut alors réorganiser son mouvement sur la base des *feedbacks* auditifs produits par le codage de son geste. Le système, en se basant sur la reconnaissance et la poursuite du geste, permet en effet aux étudiants d'améliorer leurs prestations, par exemple dans le solfège, à travers une approche créative et multimodale tout à fait complémentaire à l'enseignement traditionnel.

L'utilisation du *feedback* sonore peut être également utilisé pour produire une compréhension majeure des mécanismes multimodaux qui régissent la perception. Dans une étude récente, Leman et Nijs présentent un système interactif, appelé *The Music Paint Machine*, basé sur la coarticulation des stimuli auditifs, visuels et kinesthésiques[530]. *The Music Paint Machine* est une technologie pédagogique interactive permettant aux musiciens de créer de la peinture numérique en jouant de la musique et en utilisant le mouvement. Le système détecte et analyse le son et les mouvements du musicien en traduisant certaines informations de bas niveau (la hauteur et l'amplitude de la musique ou la direction du mouvement) en données visuelles. Le système permet ainsi aux étudiants d'expérimenter une approche incarnée et multimodale de la musique en stimulant une connaissance intuitive et somatique de la pratique interprétative : au lieu d'apprendre une technique musicale et une posture corrélée selon un modèle désincarné, l'étudiant participe à l'expérience sonore de manière active et holistique.

Enfin, une autre application remarquable des technologies interactives au sein de la pédagogie musicale concerne le développement des outils de support pour des enfants ou des adolescents présentant des troubles psychomoteurs. Dans ce cadre il s'agit principalement de développer des solutions ergonomiques permettant à des étudiants en situation de handicap de pratiquer de la musique instrumentale[531]. On parle à ce propos de « conception centré sur l'utilisateur », en référence à des méthodes qui combinent l'ingénierie et le design de l'interface ou du support technologique aux techniques d'analyse sensorielle, dans l'objectif

---

[530] Luc NIJS et Marc LEMAN, "Performing with the music paint machine: provoking an embodied approach to educational technology" in Andrew KING et Evangelos HIMONIDES (dir.), *Music, technology & education : critical perspectives*, London-New York, Routledge, 2016, p. 225-242.

[531] Julie THONY et al., "Adaptation Ergonomique du Matériel Musical : un projet interdisciplinaire concret au service des enfants handicapés" in *Hermès Sciences. Expériences en Ergothérapie*, Sauramps Médical, Montpellier, 2008, p. 196-203.

d'optimiser l'ergonomie du dispositif en fonction des capacités perceptives et de situations spécifiques des utilisateurs[532]. De telles technologies prennent le nom de « technologies musicales de support » [*assistive music technology*] ou de « technologies musicales interactives accessibles », en désignant la création de dispositifs pour faciliter la participation active à la formation musicale et aux possibilités d'apprentissage dans des environnements inclusifs[533].

6.1.2 Sonoriser le mouvement pour stimuler la créativité motrice et le bien-être psychophysique

L'application de technologies sonores interactives ne se limite pas aux seuls domaines de la pédagogie de la danse et de la formation musicale professionnelle. Si dans les contextes présentés la médiation technologique et l'interaction sonore ont la fonction d'améliorer l'apprentissage des techniques instrumentales ou chorégraphiques, un nombre croissant d'études se sont intéressé récemment au *feedback* sonore comme outil pour induire la créativité motrice tantôt dans le cadre ludico-pédagogique tantôt dans le cadre thérapeutique. Comme on l'a vu en parlant du couplage action/perception et de la théorie moto-mimétique, la perception sonore a un rôle unique dans la stimulation de l'apparat sensori-moteur. Utiliser le canal auditif pour transmettre des retours sensoriels concernant le mouvement présente en effet divers avantages. Du point de vue neurologique il a été désormais démontré comment notre organisation perceptive dans le domaine temporel se base sur la relation étroite entre les systèmes auditif, vestibulaire et moteur. Physiologiquement parlant, l'oreille s'avère beaucoup plus performante pour analyser et discriminer des événements temporels fins, surtout par rapport à la vision. Cela a, bien évidemment, des implications dans l'étude du contrôle moteur et des processus figuratifs liés à la musique. Johanna

---

[532] Julien VEYTIZOU, "Conception de systèmes personnalisables aux capacités motrices pour la pratique musicale" in Isis TRUCK, Karine GROS et Jaime LOPEZ-KRAHE, *Handicap, Vieillissement, Indépendance, Insertion, Technologies*, Actes de Colloque, Paris, France, 2015, p. 55-61. J'ai déjà fait référence dans le cinquième chapitre au concept similaire de « human-centered interaction » : cf. *supra*, p. 194 note n. 400.

[533] Cf. Emily H. WATTS, Kimberly MCCORD et Deborah VANDERLINDE BLAIR, "Assistive Technology to Support Students in Accessing the Music Curriculum" in Deborah VANDERLINDE BLAIR et Kimberly A. MCCORD (dir.), *Exceptional Music Pedagogy for Children with Exceptionalities*, New York, Oxford University Press, 2016, p. 85-104.

Robertson, Thomas Hoellinger, Pavel Lindberg, Djamal Bensmail, Sylvain Hanneton et Agnes RobyBrami, notent en outre que l'audition possède des taux de réponse très élevés aux modulations d'amplitude et de fréquence[534]. Perspectives cognitivistes et incarnées concordent sur ce point. Pour les premières le traitement des informations auditives est notamment plus court que l'élaboration des données visuelles. Pour les deuxièmes cela doit être rapporté à la structure de l'organisation perceptive organisme-environnement. De plus, des études expérimentales ont démontré que les *feedbacks* sonores ont des effets prépondérants par rapport aux stimuli visuels en ce qui concerne différents processus d'organisation perceptive du mouvement tels que l'allure, la réaction aux perturbations cinétiques et plus généralement le contrôle multimodal de la posture[535]. Tout cela ne fait que renforcer le lien étroit entre son et mouvement.

Au-delà des implications strictement neurophysiologiques, diverses recherches ont récemment démontré l'efficacité de la rétroaction sonore interactive comme outil pour stimuler la créativité motrice et l'implication corporelle. Des études ont expérimenté l'utilisation de dispositifs ludico-expressifs surtout chez les enfants. Dans le projet *Hoppsa Universum* de l'Université de Stockholm, un dispositif technologique et pédagogique a été mis en place sur la base des mouvements spontanés des enfants d'âge préscolaire (3-6 ans)[536]. Dans une première phase, les enfants bougent de manière libre en réaction à l'écoute de différentes pièces de musique. Leurs mouvements sont captés et étudiés afin de développer une chorégraphie basée sur ces mouvements spontanés. Ensuite des compositions musicales sont créées en fonction d'une telle chorégraphie. Les compositions sont enfin déstructurées en sections. Ces sections musicales sont ainsi connectées à une application interactive exploitant un système de captation optique du mouvement. Grâce à ce système les enfants déclenchent les différentes sections musicales ainsi que d'autres effets sonores et lumineux d'accompagnement à travers les mouvements précédemment chorégraphiés. Comme observé par

---

[534] Johanna V. G. ROBERTSON et al., "Effect of auditory feedback differs according to side of hemiparesis: a comparative pilot study" in *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 6(45), 2009, https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2804659/

[535] Cf., parmi d'autres, Yoram BARAM et Ariel MILLER, "Auditory feedback control for improvement of gait in patients with Multiple Sclerosis" in *Journal of the Neurological Sciences*, Elsevier, 254, 2007, p. 90–94.

[536] Anna KÄLLBLAD et al., "Hoppsa Universum – An interactive dance installation for children" in *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME '08)*, Genova, Italy, 2008, p. 128-133.

les auteurs, un tel dispositif, à la fois technologique et pédagogique, permet de stimuler l'implication motrice par la musique aussi bien que la participation à un processus de co-création.

Un autre projet remarquable dans le contexte éducatif est la plateforme *MIROR* (Musical Interaction Relying On Reflexion)[537] qui propose une approche innovante à la médiation technologique et à l'interaction musicale. Il s'agit d'un système adaptatif pour la musique et l'éducation au mouvement, conçu pour être appliqué à divers contextes tels que les milieux éducatifs, les écoles de musique et de danse, les contextes thérapeutiques et les programmes de formation des enseignants. Une série d'applications interactives pour l'interaction gestuelle avec la musique sont développées à ce propos[538]. Le dispositif interactif et pédagogique se base sur le paradigme de la *réflexivité musicale interactive* : en exploitant des technologies basées sur la reconnaissance et l'analyse expressive du geste, les applications permettent en fait de créer une « réponse mimétique », en termes musicaux, à l'*input* en entrée[539]. Le principe de la réflexivité interactive permet dans ce contexte de renforcer la modalité d'apprentissage musical de l'enfant en sollicitant l'exploration d'un style personnel et en stimulant son implication dans le processus créatif[540]. L'application appelée MIROR-Gesture Body par exemple exploite certaines fonctions de *EyeWeb* et nécessite donc la captation optique comme système d'acquisition de données. Le MIROR Body-Gesture permet aux enfants d'effectuer des explorations sonores par le biais de leurs mouvements corporels et de leurs

---

[537] http://www.mirorproject.eu/ Consulté le 22/08/2017. Le projet comprend sept partenaires internationaux coordonnés par l'Université de Bologne. La partie technologique a été développée en lien étroit avec l'InfoMus Lab de l'Université de Gênes dont j'ai parlé à propos de la plateforme *EyeWeb*.

[538] Actuellement trois applications ont été développées : le MIROR-Impro,pour l'improvisation musicale, le MIROR-Compo pour la composition musicale et le MIROR-Gesture pour la composition de la danse et de la musique.

[539] Dans ce cadre on parle de « Interactive Reflexive Musical Systems ». La notion d'IRMS émerge au sein de recherches sur les nouvelles formes d'interactions homme-machine. Elle se base sur l'idée que les utilisateurs manipulent essentiellement une « image sonore » de soi-même, une sorte de miroir intelligent. Cf. François PACHET, "Musical interaction with style" in *Journal of Music Research*, 32(3), 2003, p. 333-341. J'ai déjà fait référence à des systèmes similaires en parlant de systèmes adaptatifs, d'algorithmes décisionnels et surtout de *stratégies implicites* de mapping (cf. *infra* note)

[540] Cf. Anna R. ADDESSI, "Child/machine interaction in reflexive environment. The MIROR platform" in *Proceedings of the Sound and Music Computing Conference*, Berlin, Logos Verlag Berlin GmbH, 2013, p. 95-102.

gestes[541]. Dans les activités proposées, les enfants expérimentent des interactions réflexives en jouant de la musique et en faisant des mouvements inspirés de certaines qualités du corps (pesanteur, légèreté). Les qualités des mouvements du corps sont analysées en temps réel et utilisées pour contrôler la réponse mimétique du système. Ces expériences permettent à l'enfant d'inventer de la musique, de dialoguer avec le son et de renforcer ses idées musicales en expérimentant différentes caractéristiques de la structure sonore comme le rythme, la mélodie et l'harmonie à partir d'une expérience motrice[542]. Le mécanisme de répétition et de variation, à son tour, donne lieu à un processus d'immersion positive, appelé *flow state*[543], où le centre d'attention n'est pas le produit final, mais le sujet impliqué dans l'interaction.

En dehors des applications analytiques, pédagogiques et ludico-expressives, d'autres recherches se sont intéressées récemment à l'utilisation de l'interaction sonore et de la créativité motrice comme moyen pour stimuler le bien-être physique et émotif. À ce propos, de nombreuses études ont identifié les avantages de l'utilisation des technologies interactives (réalité virtuelle et augmentée, jeux vidéos, interfaces multimédias, etc.) dans une variété de contextes liés à la thérapie et la rééducation. Conjointement avec les approches éducatives ou thérapeutiques conventionnelles, elles peuvent constituer un moyen efficace non seulement pour développer des compétences et promouvoir des activités physiques, mais aussi pour soutenir le développement socio-émotionnel et traiter différents types de troubles psychologiques et

---

[541] La structure des activités pédagogiques et du mapping s'inspire de certaines notions issues de la théorie de l'effort de Rudolf Laban. Cf. Anna R. ADDESSI et al., "The MIROR-Body Gesture: Designing a reflexive system for children. A pilot study on Laban's Effort features" in «ANAIS DO ... SIMPÓSIO DE COGNIÇÃO E ARTES MUSICAIS», 2013, p. 74 - 94

[542] Anna R. ADDESSI et al., "The MIROR platform for young children's music and dance creativity: Reflexive interaction meets body-gesture, embodied cognition and Laban educational dance" in *Perspectives. Journal of Early Childhood Music & Movement Association*, 10(1), 2015, p. 9-17.

[543] En psychologie le terme *flow* dénote un état d'immersion complète dans le moment présent grâce à une activité fortement stimulant. Du point de vue de la personne impliqué, cet état se caractérise pour un plein engagement et une sensation de satisfaction dans son accomplissement. Il est souvent utilisé pour décrire la complète participation psycho-physique dans les activité sportives. Cf. Jeanne NAKAMURA et Mihaly CSIKSZENTMIHÁLYI, "Flow Theory and Research" In C. R. Snyder Erik WRIGHT, and Shane J. LOPEZ (dir.), *Handbook of Positive Psychology*, Oxford University Press, 2001, p. 195-206. Il convient de noter que Leman utilise ce concept pour décrire également l'engagement du musicien dans l'interprétation musicale.

physiques[544]. De plus, l'utilisation de technologies de simulation liées à la pratique du jeu et à la créativité expressive est considérée actuellement comme une option dynamique et originale qui rassemble les domaines de l'art et de la science dans le but de promouvoir le bien-être humain. En ce sens, divers parcours innovants ont été envisagés à partir de la convergence de recherches autour de la *gamification*[545] et de la médiation thérapeutique par l'art[546]. Dans le contexte spécifique de l'interactivité sonore, diverses expériences commencent, petit à petit, à émerger. Différentes études ont été conduites afin d'évaluer l'efficacité de l'utilisation d'interfaces musicales par exemple dans le contexte de la rééducation motrice[547]. Dans ce cadre le *feedback* est utilisé comme "récompense" pour l'effort moteur en agissant donc comme élément de motivation. De plus la synchronisation avec la production sonore facilite l'accomplissement d'un exercice physique en réduisant le sens d'effort pendant l'exercice et en améliorant la capacité de coordination psychophysique. Par cela, d'autres études se sont concentrées sur le développement de dispositifs ludico-musicaux pour stimuler l'implication motrice et émotive des enfants affectés par différents troubles psychiques. Karen Stensæth, par exemple, a étudié l'utilisation d'interfaces ludiques appelées *WAVE*, au sein du projet RHYME[548]. Dans une étude elle propose en particulier l'utilisation d'un tapis

---

[544] Paul ANDERSON et al. (dir.). *Virtual, augmented reality and serious games for healthcare*, Berlin, Springer-Verlag, 2014.

[545] Stefan STIEGLITZ et al. (dir.). *Gamification. Using game elements in serious contexts*. Cham (Switzerland), Springer International, 2017.

[546] Jean-Michel VIVES et Frédéric VINOT, *Les médiations thérapeutiques par l'art : le réel en jeu*, Toulouse, Éditions Érès, 2014.

[547] Voir, parmi d'autres, l'intéressant projet "Music Glove", un gant numérique permettant de faciliter les thérapies de rééducation motrice post-traumatiques implicant l'usage des mains. Cf. Nizan FRIEDMAN et al., "Retraining and assessing hand movement after stroke using the MusicGlove: comparison with conventional hand therapy and isometric grip training" in *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2014, 11(76), URL : https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24885076 Consulté le 01/09/2017.

[548] Il s'agit d'un projet de recherche interdisciplinaire (2010-2015) ayant pour objet le développement des ressources multimédias et des interfaces "tangibles" pour promouvoir la santé et le bien-être particulièrement chez les enfants avec des handicapes graves. http://www.rhyme.no/ consulté le 23/08/2017.

interactif/peluche permettant à des enfant autistes et trisomiques d'interagir musicalement entre eux[549]. L'étude démontre comme l'interaction en temps réel avec la musique et la dynamique du jeu permettent de stimuler la participation active des enfants à des processus de co-création en facilitant, ainsi, des formes d'interaction affectives et sociales. Un autre domaine d'application est, comme nous l'avons vu la conception et la réalisation de supports physiques/numériques pour des personnes en situation de handicap. Un projet extrêmement intéressant en ce sens est le *I4E* (*Instruments for Everyone*). À l'inverse des autres projets dont nous avons parlé le *I4E* a pour but de créer des interfaces complètement adaptées aux différents troubles physiques et/ou psychologiques des usagers impliqués. Cela permet d'envisager des contextes de créativité musicale personnalisés et adaptés au style expressif et moteur de chacun en favorisant la création de milieux inclusifs du point de vue social[550]. Une expérience similaire est développée par le projet *MotionComposer*[551] dirigé par Robert Wechsler. *Motion Composer* est un environnement expressif unique basé sur la captation optique. Au lieu de développer différents instruments ergonomiques, le projet se base sur l'utilisation d'une seule interface non-invasive adaptable à toute possibilité expressive (une caractéristique remarquable du système de captation développé est par exemple la détection du mouvement des yeux comme paramètre de contrôle pour l'interaction musicale). Le *motion composer* offre trois modalités d'interaction posturales (lit, chambre et chaise), différents environnements musicaux (percussions, accents, tonalité, etc.) et la possibilité d'interagir avec des parties spécifiques du corps. Une telle variété permet donc de stimuler une activité physique spontanée orientée vers la production sonore qui a déjà démontré des résultats importants en termes thérapeutiques et, plus généralement, de bien

---

[549] Karen STENSÆTH, "Potentials and challenges in interactive and musical collaborations involving children with disparate disabilities. A comparison study of how Petronella, with Down syndrome, and Dylan, with autism, interact with musical and interactive tangible 'WAVE'" in Karen STENSÆTH (dir.), *Music, health, technology and design*, Oslo, NMH-publications, 2014, p. 97-118.

[550] Rolf GEHLHAAR et al. "Instruments for everyone : designing new means of musical expression for disabled creators" in Anthony L. BROOKS et al. (dir.), *Technologies of inclusive well-being. Serious game, alternatives realities and play therapy*, New York, Springer, 2014, p. 167-198.

[551] http://motioncomposer.de/ consulté le 23/08/2017.

être[552]. Toutes ces recherches démontrent donc comment la médiation technologique peut stimuler la participation corporelle au phénomène musical. En sollicitant l'implication active aux processus sonores, il est possible d'encourager des expériences de co-création, de faciliter l'aboutissement de thérapies pour la rééducation motrice, et, plus globalement, d'améliorer le bien-être physique, cognitif, émotif et social de tous les acteurs impliqués dans le processus thérapeutique. De plus, les résultats en termes d'amélioration générale de l'implication psychomotrice nous montrent que le lien direct entre organisation perceptive, geste et production sonore induit une prise de conscience des mécanismes physiologique à la base du mouvement.

6.2 Développer des outils technologiques pour la pédagogie du mouvement et l'interaction sonore

Je vais présenter maintenant une étude de cas dans le cadre de l'expérimentation pédagogique avec les technologies interactives. Cette étude fait partie d'un projet que j'ai développé au sein de l'Université de Nice en collaboration avec Federica Fratagnoli, maître de conférence en danse. Le projet appelé "Corps sonore. Applications Interactives pour l'Analyse du mouvement et la recherche pédagogique" s'est développé pendant les deux dernières années (2015-2017) avec deux classes du troisième année de la Licence en Arts du Spectacle (spécialité Danse). Dans ce projet je me suis occupé en particulier de la conception et de la réalisation des systèmes interactifs. Ces expérimentations ont fait partie intégrante des enseignements en "Analyse du Mouvement" de l'Université. Depuis 2016, le projet a bénéficié de la reconnaissance de l'Université de Nice dans le cadre du soutien aux projets de "Pédagogie Innovante". Le projet se proposait d'accomplir trois objectifs majeurs : a. Initier les étudiants aux outils multimédias et interactifs pour les arts vivants. b. Proposer aux étudiants une démarche d'expérimentation visant à la prise de conscience du geste, du mouvement et de l'espace à travers l'emploi des capteurs. c. Solliciter la création de parcours pédagogiques originaux et innovants exploitant l'utilisation des systèmes interactifs pour le

[552] Andreas BERGSLAND et Robert WECHSLER, "Turning movement into music. Issues and applications of the MotionComposer, a therapeutic device for persons with different abilities" in *SoundEffects – An Interdisciplinary Journal of Sound and Sound Experience*, 5(1), 2016, p. 24-47.

contrôle gestuel du son. L'étude de cas présenté dans ce chapitre concerne la première phase d'expérimentation qui a eu lieu entre septembre et décembre 2015.

6.2.1 Paradigmes d'interaction

Comme je l'ai montré dans le premier chapitre, la dimension projective est un aspect essentiel pour l'organisation perceptive du mouvement. En danse, en particulier, les mécanismes de projection s'articulent souvent en relation au référentiel spatial choisi. Pour cette raison, dans cette première phase de travail avec les étudiants j'ai décidé de développer des applications interactives exploitant de référentiels du mouvement différents : a. Référentiel *relationnel*; b. Référentiel *égocentrique* ou *corporel*; c. Référentiel *environnemental*[553]. Ces référentiels ont été utilisés pour définir trois typologies d'exercice exploitant autant de principes d'interactivité. Dans le premier exercice, le dispositif interactif se base sur la relation mutuelle entre deux danseurs ainsi que sur l'exploration de l'espace « extra-personnel ». Ici l'espace extra-corporel et les points de contact avec l'autre sont les repères principaux pour construire la relation avec l'espace. Dans le deuxième dispositif développé, l'attention est portée sur la découverte de l'espace « personnel » définit par la kinesphère. Dans ce cas la relation avec l'espace est élaborée en utilisant comme référence le corps propre. Dans le troisième exercice, l'application doit induire l'exploration libre de l'espace. Ici la relation allocentrique[554] avec l'espace est sollicitée.

Du point de vue de la conception des applications interactives, les trois référentiels du mouvement ont été associés à autant de paradigmes d'interaction. À ce propos, les modalités interactives sont inspirées des paradigmes d'interface que j'ai présenté dans le cinquième chapitre. En particulier j'ai travaillé sur trois modèles d'interaction : un *modèle instrumental* (associé au travail en couple), un *modèle de corps-instrument* (associé au travail avec la kinesphère) et un *modèle environnemental* (associé au travail avec l'espace). Ces modèles ont été pris en considération principalement dans la phase de conception des

---

[553] La définition de ces catégories est inspirée au texte de Noa ESKHOL et Avraham WACHMAN, *Movement Notation*, Weidenfeld and Nicolson, 1958. Sur le même sujet, je renvoie aussi à Alain BERTHOZ, *op. cit.*, p. 107-110.

[554] Le terme « allocentrique » est utilisé en danse pour désigner le rapport entre la construction du mouvement et l'espace loin en opposition à l'espace proche.

systèmes interactifs (choix de capteurs, analyse de données et mapping). Les exercices proposés sont conçus de manière à solliciter une modalité d'interaction exploratoire. En particulier, j'ai décidé de me concentrer sur le développement d'interactions intuitives ne demandant pas un temps d'adaptation trop long. Trois tâches sonores et motrices ont été ainsi élaborées en référence au référentiel et au paradigme d'interface :

- Typologie A : explorer des environnements mélodico-harmoniques par le biais du geste et le contact avec le partenaire
- Typologie B : moduler des sonorités en explorant les limites de la kinesphère dans les trois dimensions
- Typologie C : explorer la topologie sonore de l'espace

6.2.1 Description des dispositifs

Tout les applications interactives ont été développées en exploitant deux typologies de capteurs : un capteur de détection optique, une *Xbox Kinect Camera*, et deux capteurs de mouvement *Hot Hands Midi Controller*. Les dispositifs ont été choisis sur la base de quatre principes : la typologie de captation, l'ergonomie, l'*usabilité* et le coût. Dans les deux cas il s'agit d'interfaces grand public et donc accessibles en termes de coût. Du point de vue de l'*usabilité* ils sont aisément re-programmables selon le contexte d'usage. Ils présentent en outre certains avantages en termes d'ergonomie : la Kinect est une caméra video qui ne demande pas de capteurs auxiliaires sur le corps de l'utilisateur; les Hot Hands sont des capteurs à forme de bagues, assez légers et non-invasifs. La caméra Kinect est une caméra thermique créée par Microsoft pour la plateforme de jeux-vidéos Xbox (Fig. 1). Il est possible de la reprogrammer pour obtenir des informations en rapport à la position du corps dans l'espace. Grâce à des logiciels intermédiaires il est possible d'obtenir une extraction du squelette [*skeleton*] et de le diviser aisément en segments correspondants aux différentes articulations du corps (Fig. 3). Pour chaque segment (tête, pieds, mains, etc.), on peut acquérir les données brutes relativement aux coordonnées tridimensionnelles (x, y, z).

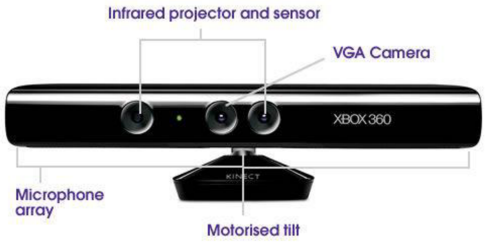


Fig. 1

Fig. 2

Les données issues de la Kinect sont des informations de position "relative". Les valeurs tridimensionnelles des membres sont en fait calculées en fonction de la distance par rapport à la source de captation (c'est-à-dire la position relative à la caméra Kinect). En déplaçant le capteur d'un point A à un point B, nous modifions non seulement le volume de l'espace de captation mais le système de référence en tant que tel. Bien que les données concernant le mouvement des différentes articulations du corps ne soient pas extrêmement précises et fiables, ce capteur s'avère être très efficace pour travailler en relation avec l'espace. Par exemple pour construire des régions de captation délimitées en rapport à la position du corps dans l'espace.

Les Hot Hands (Fig. 2) sont des bagues permettant le contrôle continu de paramètres musicaux. Il s'agit de dispositifs grand public conçus comme interface sans-fils pour l'interaction gestuelle avec la musique : en exploitant le protocole MIDI, ils sont directement utilisables sur tous les logiciels pour la production musicale en commerce sans besoin d'une programmation dédiée. Le Hot Hand contient un accéléromètre capable de calculer, avec une grande précision, la rotation sur les trois axes cartésiens dans une plage de 180°. Le capteur transmet les données du mouvement à l'ordinateur, via un radio-receveur USB. Les informations en entrée sont des valeurs continues (x,y,z). Grâce à cet outil, il a été possible de créer des interactions linéaires entre geste et son, ainsi que des algorithmes génératifs capables de contrôler des structures musicales plus élaborées. Alors que la caméra Kinect fournit des positions relatives, les Hot Hands transmettent des informations absolues sur le mouvement : en se basant sur le système de référence de la masse inertielle interne au capteur et non pas sur une référentielle externe, les valeurs ne dépendent pas de la position du capteur dans l'espace mais de sa rotation absolue.

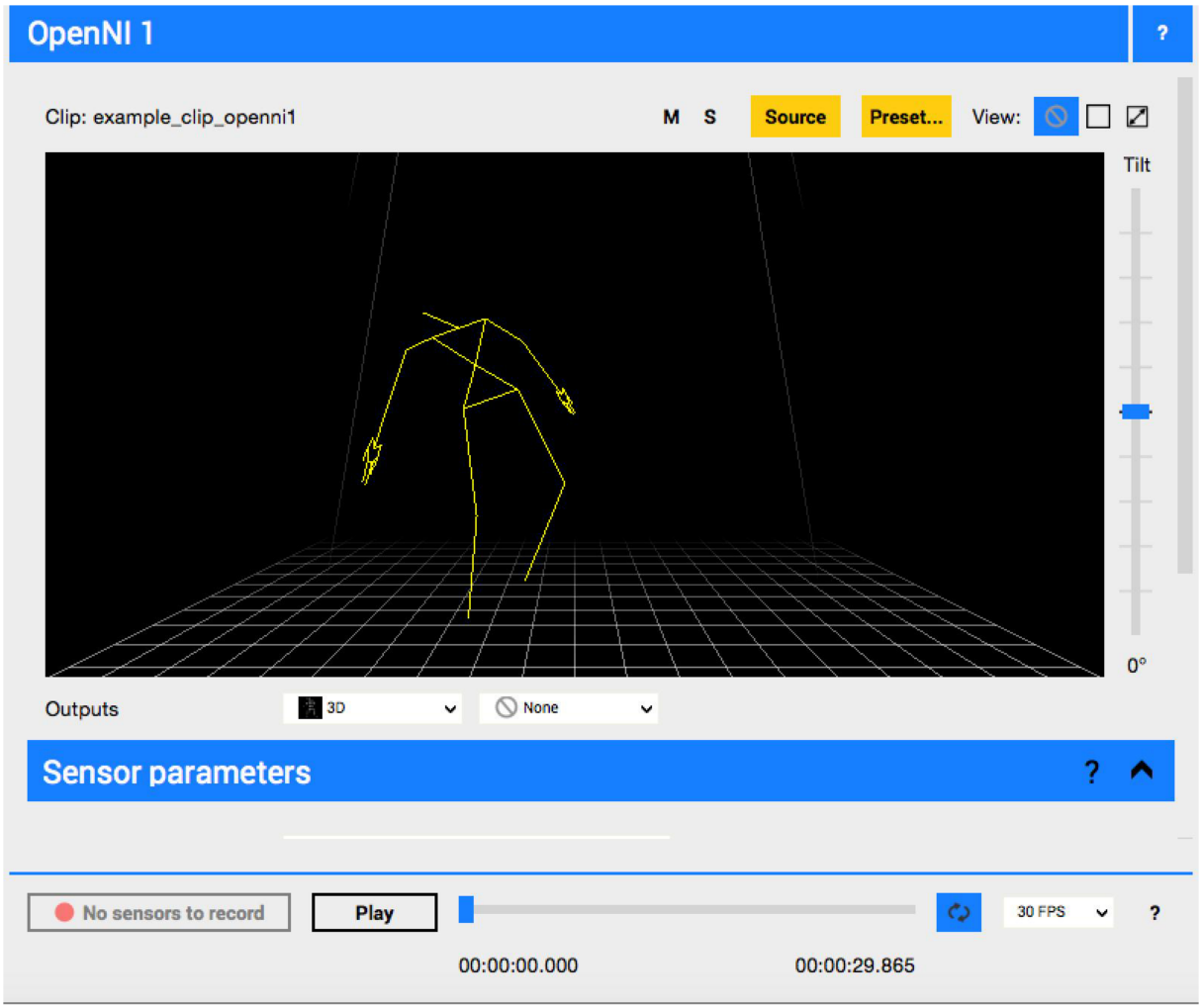


Fig. 3 : Vision du squelette issu de la captation avec la Kinect

6.2.2 Codage et design sonore

Un caractère particulier de mon "style" de codage est la modularité fonctionnelle de chaque bloc de programmation. Tantôt les applications réalisées pour cette expérimentation tantôt celles utilisées dans les créations artistiques présentées dans les deux derniers chapitres, se basent sur un design interactif fortement modulaire. Chaque fonction (acquisition des données et codage, index du mapping, traitement sonore) est associée à un module-logiciel différent. Tout le travail de codage est réalisé en MaxMsp. Dans cette phase les données brutes sont élaborées selon la logique interactive choisie. Il s'agit donc de définir ce que j'ai appelé les « seuils qualitatifs » ou « de pertinence » et les « seuils quantitatifs » ou « d'impédance ». Les seuils d'impédance concernent le « comment » de l'interaction. Il s'agit donc d'établir la plage sélective

de l'interaction. Les seuils de pertinence, au contraire, définissent les canaux de transmission de l'information et les corrélations morphologiques entre morphologie gestuelle et sonore. Les différentes valeurs ainsi obtenues (valeurs brutes, descripteurs de mouvement, etc.) sont ensuite envoyés à *OSCulator* par le biais d'un module de transmission *UDP* (*User Datagram Protocol*). Le logiciel fonctionne simplement comme intermédiaire. D'ailleurs il permet d'avoir une représentation ordonnée de la liste des paramètres utilisés. Les index ainsi créé sont envoyés à *Ableton Live* pour le design sonore. Dans certains cas les modules de traitement sonore sont programmés en *MaxMsp* et ensuite intégrés en Ableton Live afin d'exploiter une palette sonore plus riche et adaptée au contexte[555]. Dans le cas de la Kinect, un logiciel supplémentaire est utilisé : *NI Delicode*. Ce logiciel permet d'extraire directement le squelette issu de la captation optique et de transmettre les coordonnées tridimensionnelles en *OSC* (protocole de communication *Open Sound Control*). Les données issues de Delicode sont ainsi envoyées à Max et reçues par le biais d'un module UDP. Cette conception architecturale du design interactif présent deux avantages : d'un côté elle évite de surcharger un seul logiciel, de l'autre elle permet une visualisation séparée des différentes phases du processus interactif.

Dans le développement de trois applications interactives (Typologie A, Typologie B et Typologie C) un point de vue écologique a été pris en considération. En particulier j'ai essayé de créer des connexions intelligibles entre la fonction de l'action envisagée et la qualité du traitement sonore. Par conséquent je me suis inspiré du concept de « cohérence gestuelle » élaboré par Wechsler et auquel nous avons fait référence dans le quatrième chapitre.

Typologie A : explorer des environnements mélodico-harmoniques par le biais du geste. Cette application s'inspire du paradigme du méta-instrument. Elle fait référence donc à un « modèle instrumental ». Dans ce cadre j'ai choisi de travailler avec les Hot Hands car ils fournissent de mesures assez

[555] Le logiciel de *Ableton Live* permet d'utiliser une fonction particulière appelée *Max4Live*. Cette fonction permet de programmer en *MaxMsp* des algorithmes pour le traitement sonore assez personnalisés et spécifiques pour ensuite les intégrer dans Ableton. Cette possibilité présent l'avantage de pouvoir exploiter en même temps la richesse en terme de programmation de Max et l'intelligibilité de l'interface graphique de Ableton.

précises des mouvements des doigts. Chaque capteur est associé à un instrument virtuel différent. La rotation de la main autour de l'axe sagittal permet de contrôler la génération de mélodies pentatoniques distribuées sur deux octaves. La plage de rotation est divisée en segments. Le mouvement à l'interne de chaque segment déclenche une série de notes en sens ascendant ou descendant de manière cohérente avec le mouvement de la main. Chaque variation déclenche un nombre aléatoire de notes (entre une et quatre). En tournant la main de gauche à droite il est possible de reproduire la mélodie en sens ascendant et, au contraire, en tournant les mains de droite à gauche, la mélodie est jouée en sens descendant. Des mouvements légers du bas vers le haut, permettent aussi de ne déclencher qu'une note à la fois. Le mouvement sur l'axe vertical permet de modifier la couleur du son à travers la modulation de la fréquence de deux différents filtres (filtre passe-bas pour le premier son, passe-haut pour le deuxième). En ce qui concerne le design sonore, les instruments contrôlés par les capteurs génèrent des sonorités de synthèse très éthérées et harmoniques. Dans ce cas, mon but était de composer des sonorités agréables et méditatives afin d'induire des gestes délicats et de stimuler ainsi l'écoute graduelle des sonorités. Les deux instruments numériques, associés aux deux mains, sont en outre configurés à une octave de distance de telle manière que les sons soient clairement reconnaissables en termes de spectre de fréquences.

Typologie B : moduler des sonorités en explorant les limites de la kinesphère dans les trois dimensions. Cette deuxième application s'inspire du paradigme du corps-instrument. Ceci impose, selon notre classification, une modalité d'interaction où le corps est perçu comme la source directe de la production sonore. Afin de renforcer cette conception, j'ai décidé de relier l'interaction à l'exploration de la kinesphère, un concept connu par le danseurs[556]. Les manières dont on peut aborder cette notion du point de vue de l'interaction sonore sont nombreuses. Dans le cadre de cette expérimentation j'ai décidé de créer deux espaces de captation de forme sphérique, permettant aux danseurs d'explorer certains vecteurs élémentaires du mouvement ainsi que de vérifier, via le son, les limites de leur espace propre. La caméra Kinect s'avérée être l'interface la plus adaptée à cette fin. Deux régions de captation ont été ainsi créées. Les

[556] La notion de kinesphère, élaborée par le chorégraphe et théoricien de la danse Rudolf Laban, indique la sphère autour du corps dont la périphérie peut être facilement atteinte par des membres étendus sans s'éloigner de ce lieu qui est le point de support en se tenant debout sur un pied. Cf. Rudolf LABAN, *Choreutics*, Dance Books Ltd., 1966.

éléments principaux dans l'exploration de la kinesphère sont normalement les niveaux et les directions. Il a été donc choisi de permettre aux danseurs d'explorer les différences de niveau et d'orientation élémentaires (haut/bas et droite/gauche). L'entrée dans la zone de captation détermine l'activation du son tandis que le mouvement des mains sur l'axe vertical (du bas vers le haut et vice versa) permet de moduler le timbre du son. Un autre paramètre d'interaction est le mouvement de la tête par rapport au barycentre. Les sonorités déclenchées et modulées par le mouvement sont générées à travers un algorithme de synthèse granulaire. Les paramètres d'interaction de cette application permettent de modifier la granularité du son, sa pulsation interne et la fréquence. Chaque kinesphère sonore a d'ailleurs des réglages paramétriques spécifiques en rapport au son principal. En outre, l'éloignement du centre du corps par rapport à l'axe vertical de la kinesphère provoque une distorsion du son. Cet effet a été pensé pour signaler, à travers un *feedback* acoustique très clair, les frontières "virtuelles" de la kinesphère. Du point de vue du design sonore, deux textures sonores très différentes ont été composées afin d'induire une diversité au niveau de la qualité corporelle. La première zone interactive déclenche un bourdon continu, très abstrait et méditatif. La deuxième zone active une sonorité plus électroacoustique et granulaire, qui rappelle la liquidité de l'eau. Étant donnée la finalité de l'expérimentation (induire des qualités de mouvement différentes), la diversité des sons a été conçue tout d'abord en termes perceptifs. Pour cela les deux sonorités présentent une opposition morphologique forte (son plus continu et homogène / son plus granulaire avec beaucoup de variations dynamiques internes) et une opposition sémantique (son abstrait / son concret)[557].

Typologie C : explorer la topologie sonore de l'espace. La troisième application s'inspire du paradigme de "l'espace sentant", il s'agit donc d'un modèle d'interaction où l'espace est perçu comme la véritable source sonore. Le système interactif développé exploite les données de la caméra Kinect afin de générer sept zones interactives, chacune associée à un son différent. Les zones interactives ont été créées en calculant la variation de la distance entre sept points définis préalablement et la moyenne des positions issues du squelette. Une équation pour le calcule de la distance n-dimensionnelle a été employée à ce propos :

[557] Ces catégories sont inspirées par la spectromorphologie de Dennis SMALLEY, *op. cit.*

$$\sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \cdots + (p_n - q_n)^2} = \sqrt{\sum_{k=1}^{n} (p_k - q_k)^2}.$$

Le design interactif du système est conçu afin de faciliter l'émergence des relations spatiales et des réponses sonores très différentes. Les aires sont activées avec la seule présence physique du danseur (avec les mains, les pieds, la tête ou le corps entier) : en entrant dans la zone de captation un son est déclenché. La présence du danseur dans la zone détermine la durée de la bande sonore. La manière dont on bouge dans l'espace interactif produit pourtant un résultat sonore très varié. En traversant rapidement une des zones interactives on produit une réponse acoustique assez percussive. En restant dans l'espace de captation d'une des aires interactives, la bande de son reste active en créant un effet d'accompagnement. Les sonorités utilisées, toutes électroacoustiques, sont très différentes entre elles afin de stimuler une réponse motrice adaptée.

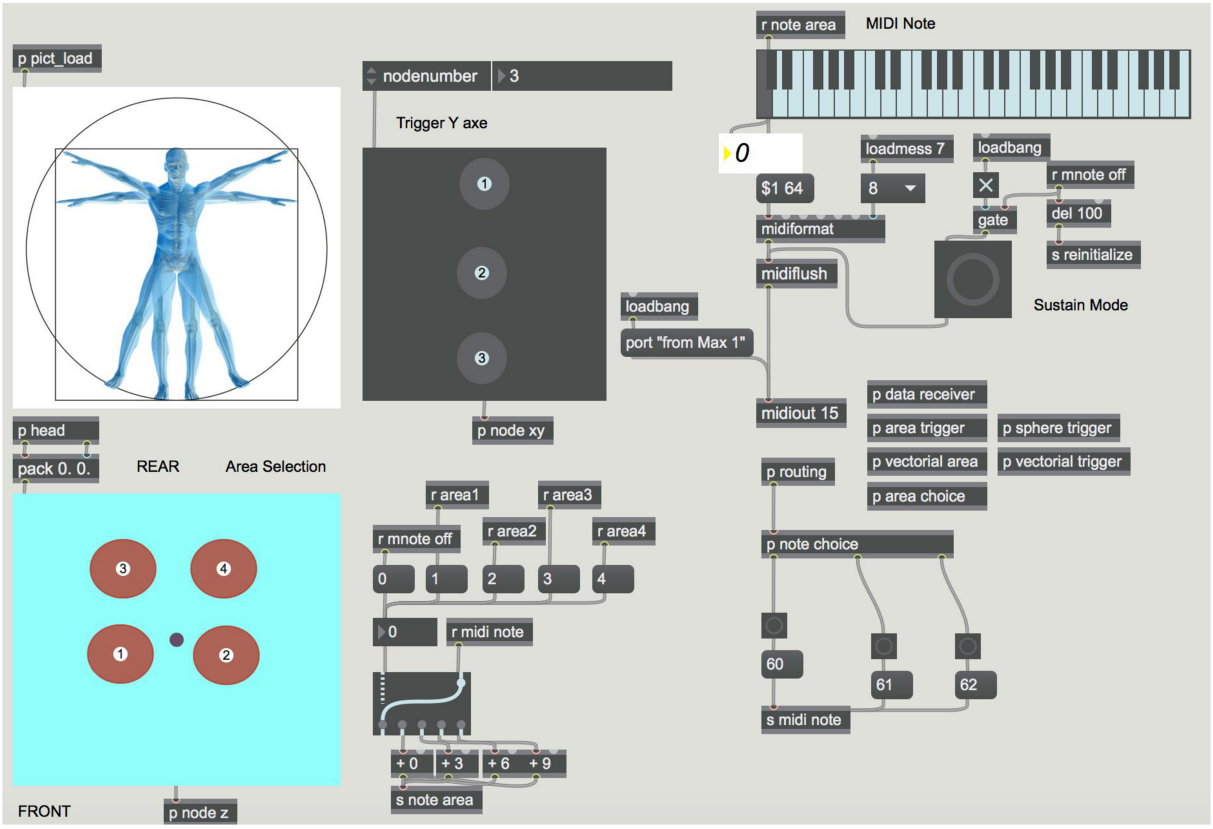


Fig. 4 : exemple avec quatre zones interactives dans l'espace

6.3 Présentation de l'étude de cas

Comme on l'a précisé au début de chapitre, l'application des technologies à l'étude du mouvement se déroule selon deux tendances majeures, l'une plus quantitative et l'autre plus phénoménologique. L'analyse des expériences présentées se base sur cette deuxième approche. Du point de vue méthodologique il a été choisi d'évaluer les expériences selon une méthode principalement qualitative et phénoménologique[558]. Pour cela le ressenti subjectif des étudiants par rapport à l'expérience interactive ainsi que mon observation directe ont été privilégié. Ce choix est motivé par le fait de vouloir mettre en lumière les connexions entre organisation perceptive du mouvement et production sonore en intégrant le point de vue de l'*interacteur*[559]. Une deuxième motivation consiste dans la nécessité d'évaluer la présence d'une valorisation imaginative du geste dans le processus de composition du mouvement et de virtualisation de l'anatomie corporelle. Les expériences ont été analysées selon quatre méthodes : a. observation participante; b. observation à distance (analyse des matériaux audiovisuels issus de la captation des sessions d'expérimentation); c. entretien non-structurés avec certains étudiants avec les vidéos; d. *focus group* avec tous les étudiants à la fin de chaque session. Les trois applications interactives ont été testées en trois sessions différentes entre novembre et décembre 2015. Chaque session a eu une durée de 1h30 plus une demi-heure consacrée à la discussion et aux retours sur l'expérience. Dix étudiantes inscrites en troisième année de Licence en Danse de l'Université ont participé. Les expériences interactives ont été conçues en fonction de trois objectifs principaux :

1. **Elargir** la conscience du geste à travers l'utilisation des *feedbacks* acoustiques;
2. **Observer** comment différentes qualités sonores peuvent affecter l'exécution du geste;
3. **Analyser** dans quelle mesure un environnement sonore interactif peut "informer" les processus

---

[558] Cf. parmi d'autres Katharina VAN DYK, "Usages de la phénoménologie dans les études en danse" in *Recherches en danse*, 1, 2014, URL : http://danse.revues.org/607 Consulté le Consulté le 10/09/2017. Voir également en ce qui concerne l'utilisation de nouvelles technologies l'approche proposée par Vivian FRITZ, *Danse et nouvelles technologies vers d'inédites écriture chorégraphique*, Thèse de Doctorat en Arts du Spectacle mention Danse, Université de Strasbourg, 2015.

[559] Cf. par exemple Anne CAZEMAJOU, "Analyse du mouvement. Une nouvelle vision du corps en mouvement", Centre National de la Danse, Rapport Interne, 2005, URL : http://lacomediedeclermont.com/saison2015-2016/wp-content/uploads/2015/07/Analyse-du-mouvement-CND.pdf Consulté le 10/09/2017.

imaginatifs liés à la catégorisation perceptive de l'espace.

6.3.1 Référentiel relationnel

Dans le premier exercice proposé, la composition du mouvement est orientée par un référentiel relationnel : le partenaire. L'application développée (Typologie A) a été intégrée dans un exercice pré-existant basé sur l'écoute de soi-même et de l'autre. L'exercice a été légèrement adapté en fonction de l'interaction. Le but de la pratique est de solliciter l'écoute réciproque à partir du contact physique. Afin d'avoir une compréhension meilleure des sensations produites par l'interaction sonore et par le travail avec le partenaire, j'ai participé personnellement à l'exercice. Les deux danseurs sont debout l'un derrière l'autre. Les doigts de pieds de la personne de derrière touchent les talons de celle de devant, la poitrine du premier danseur frôle le dos de l'autre. Tous les deux ont les yeux fermés. Dans la première partie de l'exercice la personne de derrière guide le mouvement de celle de devant à partir du contact des mains. Au cours de cet excise l'exploration peut évoluer librement dans un duo dansé tout en gardant le contact physique des mains. L'improvisation rappelle donc une improvisation de danse contact[560]. L'utilisation de l'interaction dans cet exercice nous a permis d'amplifier la dimension d'écoute déjà présent dans ce genre de pratique[561]. Le *feedback* a ici pour fonction de stimuler tout d'abord la prise de conscience du corps propre (l'étudiant entend des sons en relation avec ses propres mouvements) ainsi que du corps de l'autre (l'étudiant entend des sons en conséquence des mouvements de l'autre). En d'autres termes, il s'agit de stimuler une posture perceptive favorisant l'émergence d'un niveau d'échange réciproque entre l'étudiant-danseur et son partenaire. Les yeux fermés facilitent cette pratique d'écoute profonde (Fig. 5). Durant la première phase de

---

[560] La "danse contact" et un genre de danse fortement basée sur l'improvisation qui a été développée aux États-Unis au cours des années soixante-dix par un groupe de danseurs dirigé par Steve Paxton et Nancy Stark Smith. Il s'agit d'une pratique dans laquelle les points de contact physique entre au moins deux danseurs, deviennent le point de départ d'une exploration des mouvements improvisés. Pour une introduction voir, Cynthia J. NOVACK, *Sharing the Dance: Contact Improvisation and American Culture*, Madison (Wisconsin), University of Wisconsin Press, 1990, p. 22-62.

[561] L'écoute est ici à entendre comme une modalité d'*immersion* au cœur du sensible, non réductible au seul sens de l'ouïe. Laurence Louppe définit d'ailleurs l'écoute en danse comme un genre d'écoute auquel « participe de tout le corps » : cf. Laurence LOUPPE, *op.cit.*, p. 23.

l'exercice, des indications verbales sont utilisées pour inviter les deux partenaires à l'écoute de soi et de l'autre. La personne de devant, qui porte les bagues, suit les impulsions données par l'autre personne. Au cours de l'exercice, la personne qui est devant, elle aussi, commence à devenir de plus en plus active dans la construction du mouvement. Pendant le déroulement de l'exercice il y a donc une première phase d'écoute et une deuxième phase de dialogue entièrement basé sur le contact réciproque, la construction partagée du mouvement et la production sonore[562].

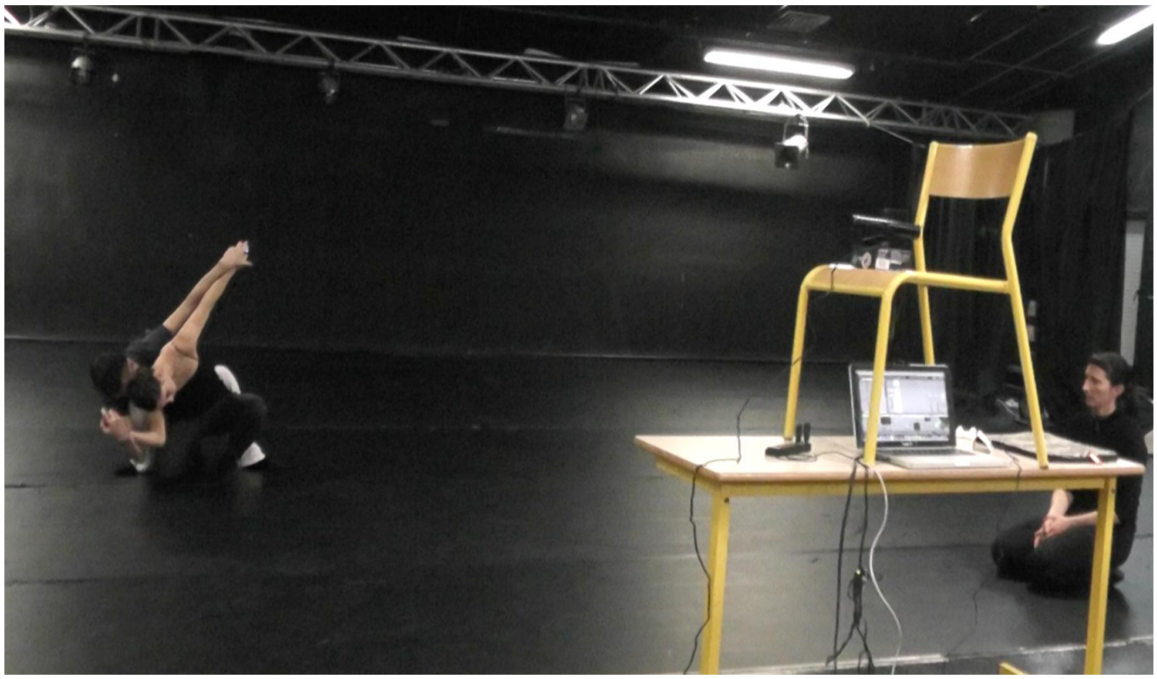


Fig. 5 : exercice en duo

[562] Cf. vidéo "Typologie A - Référentiel Relationnel" https://vimeo.com/239786467 . Tous les vidéos originaux de la thèse sont accessibles avec le mot de passe "pensée sonore". La liste complète des vidéos est également présentée dans l'Annexe 2.

À la fin de l'expérimentation avec tous les étudiantes (cinq couples en total), une discussion sur l'expérience a été ouverte. La plupart des remarques des étudiantes ont porté sur la relation geste-son et sur la fonction "active" de l'écoute. Beaucoup d'entre elles ont observé comment la mélodie produite par le mouvement était perçue comme un véritable « écho »[563] (Mathilde, Elise) ou « trace sonore » (Clara) du mouvement. Toutes les étudiantes étaient d'accord sur le fait que la « présence sonore modifie, quelque part, la perception habituelle du geste » (Elise). Certaines étudiantes ont remarqué en outre que le *feedback* auditif favorisait, surtout dans la première partie de l'exercice, l'émergence d'un « état d'écoute » (Marine) particulier, « une sorte de auto-auscultation » (Stefania). Certaines ont lié cette "écoute profonde" à une variation de tout le corps en soulignant comment les sonorités produites par le geste « amplifient la sensibilité interne » (Roxanne) stimulant une sorte de « porosité du corps » (Elise). D'autres ont porté l'attention sur le fait que l'interaction sonore, très sensible aux petites nuances du mouvement, stimule la prise de conscience des micro-modulations qui sont à la base de la composition du geste (Elise, Mathilde). En effet, en analysant les vidéos on remarque une tendance générale vers les mouvements graduels.

Certaines étudiantes ont noté que durant l'interaction sonore ils avaient l'impression d'oublier les limites anatomiques de leurs propres corps (Elise, Clara). Cette impression est d'ailleurs confirmée par le fait que dans la deuxième phase de l'exercice les mouvements de deux partenaires deviennent plus synchronisés. Cette sensation de réciprocité est due à divers facteurs. Tout d'abord les yeux fermés aident à se concentrer sur le son et sur la présence de l'autre en induisant un type d'écoute *immersif*. Certains aspects techniques de l'exercice, comme l'ergonomie des dispositifs et la typologie d'interaction, favorisent également l'émergence d'un état de flow (c'est-à-dire de participation *immersive* et de fort concentration). Les bagues en effet ne représentant pas une contrainte pour le mouvement favorisent le sens de non-médiation. Cette transparence est en outre favorisée par la continuité de la modulation sonore et par le fait que les caractéristiques fréquencielles de l'interaction se basent sur des repères perceptifs assez intelligibles (ex. sens ascendant de la mélodie/mouvement de gauche à droite).

Les récits des étudiantes différent à propos de la perception de la source sonore. Certains ont décrit l'interaction sonore comme provenant directement du corps (Clara). Dans ce cas le corps est ressenti comme

---

[563] Les citations entre guillemets font partie des retours des étudiantes sur l'expérience. Ces retours ont été enregistrés pendant le *focus group* à la fine de chaque expérimentation.

le véritable instrument. D'autres ont eu plutôt la sensation de jouer un instrument invisible externe à leur corps : « J'ai eu le sentiment de jouer l'air » - a affirmé une étudiante (Elise). Dans ce dernier cas le son est perçu comme le résultat d'une médiation entre le mouvement et un corps-médiateur externe. Nous avons ainsi deux niveaux différents d'immersion dans l'expérience sonore. L'équilibre entre production sonore et écoute semble être un facteur important favorisant le sens d'immersion. En effet, les étudiantes qui ont eu une approche trop passive ou trop active durant l'interaction ont perçu également la présence d'une médiation externe (Elise, Marine, Roxanne) tandis que les autres ont décrit l'expérience de manière plus *immersive* (Clara, Mathilde, Stefania, Margot). La nature multimodale de l'expérience représente d'ailleurs une autre variable importante. L'exercice se base en effet sur une grande variété d'informations perceptives : *feedbacks* proprioceptifs, résonances auditives, perceptions haptiques, sensations tactiles, odeurs. La sensation d'immersion ou de *flow*, lorsqu'elle émerge, résulte de la capacité d'intégrer tous ces éléments sensoriels dans un processus organique impliquant différents niveaux d'écoute au même temps : l'écoute de soi-même, l'écoute de l'autre et, bien sûr, l'écoute de la musique. Lorsque le danseur est complètement en contact avec tous ces niveaux d'écoute, les frontières entre moi, l'autre, l'interface et la musique disparaissent en sollicitant un sens d'engagement profond dans l'interaction.

6.3.2 Référentiel corporel

Le deuxième exercice proposé est conçu comme une exploration acoustique de l'espace délimité par la kinesphère. Du point de vue analytique, l'objectif principal de l'exercice est d'observer dans quelle mesure les *feedbacks* sonores « informent » la qualité du mouvement. En particulier le but est d'évaluer comment des « matières sonores » différentes peuvent induire une qualité spécifique dans le corps. Les étudiants sont libres d'explorer deux aires interactives en essayant d'entrer en contact avec la matière sonore. Aucune indication n'est donnée aux étudiants à propos du fonctionnement du système interactif de manière à ne pas influencer la spontanéité de l'exploration de la kinesphère sonore. Par conséquent, les explorations proposées par les étudiants ont étés assez différentes. Néanmoins, après avoir analysé les vidéos certains éléments récurrents ont émergés[564]. Chaque environnement sonore donne lieu à des comportements

[564] Cf. vidéo "Typologie B - Référentiel Corporel" https://vimeo.com/239809543 (mot de passe : pensée sonore)

moteurs spécifiques. En ce qui concerne la première zone, composée par des bourdons harmoniques, on observe une attitude orientée vers le contrôle des paramètres sonores. Le geste ici est utilisé pour découvrir les règles de l'interaction. Comme remarqué par certaines étudiantes, la nature « abstraite » du son (ni un son clairement instrumental ni un objet sonore évocateur) favorise la concentration sur la qualité de la production sonore. En effet, dans la plupart des cas, les mouvements des étudiants se déroulent en cherchant une cohérence entre la direction du geste et la modulation sonore. Dans ce cadre le geste se développe selon les caractéristiques typiques d'un geste instrumental de production sonore. Au contraire, dans le cas de la deuxième kinesphère, celle qui renvoie au son de l'eau, les étudiantes ont tendance à incorporer la morphologie sonore dans le mouvement. La nature granulaire du son affecte de manière remarquable la construction du geste en produisant des mouvements extrêmement fluides. Dans certains cas, il est plutôt évident que le son produit une variation dans la visualisation même de la kinesphère, presqu'une modification de la densité gravitationnelle de l'espace. Sous cet angle, une des modulations de la deuxième kinesphère se révèle très intéressante : à travers le mouvement des mains du bas vers le haut il est possible de modifier la fréquence du son du grave vers l'aigu (Fig. 6). Cette interaction, en effet, détermine un changement remarquable dans la perception de la pesanteur du mouvement. Comme déjà mentionné, le design sonore a été conçu dans le but de créer des formes de cohérence gestuelle au niveau perceptif. En ce sens, la relation intermodale entre sonorités graves et mouvement vers le bas, et entre sonorités vers l'aigu et mouvements vers le haut, semble se refléter de manière efficace sur la qualité du geste. Pour cela, un sorte d'effet secondaire sur la gravité du corps émerge : les mouvements vers le bas semblent plus lourds tandis que les mouvements vers le haut plus légers.

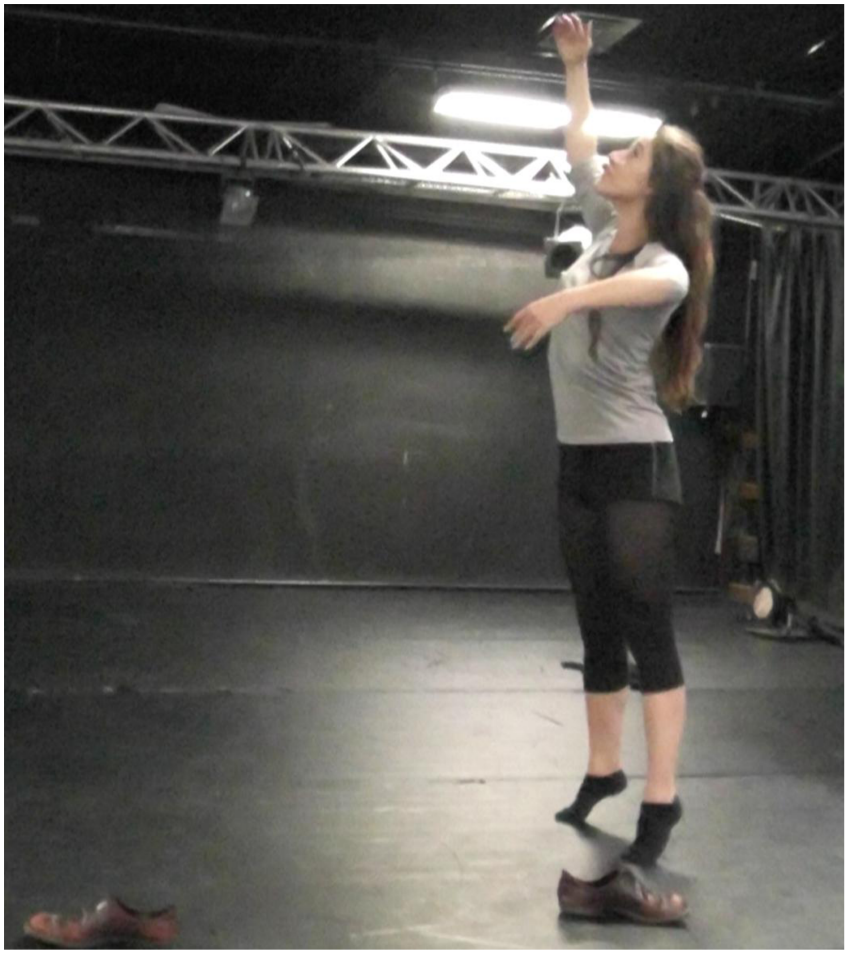


Fig. 6 : les limites sonores de la kinesphère

Un autre aspect intéressant de cet exercice résulte des différentes attitudes face à l'interaction. Comme précisé plus en haut, le sytème interactif était inspiré par le modèle du corps-instruments. Néanmoins, les approches proposées par les étudiantes ont été assez différentes entre elles. Certaines interprètent l'interface comme un dispositif extérieur (modèle instrumental). Dans ce cas, elles gardent un contact visuel avec la caméra Kinect qui est perçue comme la véritable source d'interaction (Margot, Roxanne). Le son est ressenti comme quelque chose qu'il faut contrôler plutôt que comme quelque chose qu'induit la qualité du mouvement. D'autres étudiantes se sont livrées à l'exercice avec une attitude plus *immersive* (Clara, Marine, Stefania). Dans ce cas, le corps est perçu comme la source du son (modèle du corps-instrument). Bien sûr, cette attitude n'est pas immédiate mais émerge au fur et à mesure que le danseur adapte son corps à la grille sensorielle imposé par l'interaction. En analysant les vidéos, il est intéressant de noter que ces étudiantes ont été affectées, plus que les autres, par des qualités de la texture sonore. Un autre groupe

d'étudiantes semble considérer l'espace de la kinesphère (externe au corps) comme la source de production sonore (Mathilde, Elise). Dans ce cas, on observe que les mouvements naissent à partir des points de référence repérés dans l'espace proche. Les repères principaux sont établis en définissant les limites de la kinesphère signalés par le retour sonore. Une dernière considération émergeant de l'analyse des vidéos avec certaines étudiantes, concerne la phase de transition entre les deux kinesphères. Cette phase de passage s'avère être très importante puisqu'elle rend visible une reconfiguration de l'anatomie corporelle "en train de se faire". Avec Clara et Elise, en particulier, nous avons remarqués trois moments récurrents qui décrivent la transition d'une configuration corporelle à l'autre[565] :

- Perturbation de l'anatomie corporelle : "en entrant dans un nouvel espace sonore, mon corps est d'abord étonné des nouvelles sonorités produites. En moi et autour de moi il va se configurer une nouvelle corporéité étendue, dans laquelle je n'arrive pas tout de suite à me reconnaître".

- Réorganisation de l'anatomie corporelle : "il faut un temps d'adaptation, plus ou moins long, pour que je devienne consciente des nouvelles relations entre moi et le son. J'essaie d'établir, de manière intuitive, des relations multimodales".

- Recherche de cohérence de l'anatomie corporelle : "une fois trouvé un principe d'interaction qui lie mon mouvement au son, je répète plusieurs fois le geste afin de m'assurer que je l'ai bien incorporé. Je suis en train de m'approprier une nouvelle corporéité. Cette phase peut s'accomplir lorsque l'*interacteur* rejoint un état de flow dans lequel les mouvements et la production sonore se trouvent dans une situation de résonance réciproque".

D'autres recherches ont remarqué la nature graduelle des processus d'incorporation de l'interface sonore. La plupart de ces études reconnaissent deux phases majeures : une première phase de découverte et une deuxième de maîtrise. Eric Boyer, Frédéric Bevilacqua, Quentin Pyanet et Sylvain Hanneton, par exemple,

[565] Notes de terrain personnelles réalisées pendant un entretient non-structuré avec Elise et Clara.

appellent ces deux phase « explorative » et « adaptative »[566]. Par contre, cette classification ne met pas en évidence la phase de réorganisation qui précède la phase de contrôle. Dans ma proposition l'anatomie corporelle s'adapte à la nouvelle modalité interactive en partant d'une mise en question de la posture corporelle habituelle. Il ne s'agit pas simplement de maîtriser des règles d'interaction mais de prendre conscience de la qualité dynamique de l'organisation perceptive du mouvement. L'aspect central du modèle proposé est qu'au cours de l'interaction, l'*interacteur* comprends la nature adaptative de la boucle perception/action en restant ouvert au processus de composition du geste.

6.3.3 Référentiel environnemental

Le but du troisième exercice était d'interroger l'organisation dynamique et imaginative de l'espace par le biais de l'interaction sonore. À cette fin, sept points de l'espace sont détectés. L'entrée dans ces régions provoque le déclenchement d'un son différent. En restant dans la zone de détection il est possible de moduler le son ainsi déclenché. La seule consigne de l'exercice est d'explorer librement une partie délimitée de la salle de danse. Les étudiants ne connaissent pas la position exacte des zones sonores ni le fonctionnement du système. Ils savent simplement que l'espace est interactif. Ce choix méthodologique a été fait pour ne pas conditionner l'exploration de l'environnement. Néanmoins, les différentes explorations proposées par les étudiants ont montré certains aspects en commun. Ceux-ci révèlent clairement des processus empiriques de configuration imaginative de l'espace. Pendant toute la première phase d'exploration, le regard des étudiantes est orienté vers le sol comme pour chercher des objets réels sur la scène. En se déplaçant dans l'espace pour trouver les zones sonores, les étudiants ont en outre tendance à utiliser les extrémités du corps. Déjà dans cette phase, on assiste donc à une première valorisation imaginative de l'espace : avant même que l'interaction sonore soit découverte, l'espace n'est pas perçu comme quelque chose de neutre mais comme quelque chose de profondément imbriqué dans des résonances imaginatives[567]. Les pieds et les mains, en particulier, sont allongés pour "tester" l'interactivité

---

[566] Eric O. BOYER et al., *op. cit.*

[567] À propos de la question de la « valorisation imaginative » de l'espace, je renvoie le lecteur à Gaston BACHELARD [1957], *La poétique de l'espace*, Paris, PUF, 1961.

de l'espace[568]. Cela nous révèle au moins deux éléments concernant le processus de valorisation imaginatif de l'espace. Les mains semblent tout d'abord avoir la fonction de protection. Comme confirmé par certaines étudiantes, n'ayant pas de repères visibles pour l'interaction. Les étudiantes perçoivent l'espace comme quelque chose présentant des aspects inconnus (Clara, Elise, Mathilde). L'interactivité invisible de l'espace génère donc « un mixte d'attraction et de peur » (Clara). Une autre raison qui justifie l'utilisation des extrémités du corps est le fait que les mains et les pieds sont les parties du corps humain les plus riches en extérocepteurs cutanés. N'ayant pas d'éléments visuels pour diriger l'exploration et n'ayant pas tout de suite des retours sonores, la perception haptique devient le moyen principal pour esquisser une première catégorisation perceptive de l'espace (Fig. 7). À cet égard, les récits des étudiants n'ont pas ajouté d'éléments particuliers. Tout le monde a trouvé le fait d'allonger mains et pieds, absolument instinctif et spontané.

Dès que les premières zones interactives sont découvertes, les étudiants commencent à définir les frontières de chaque "aire" avec des modalités variées. Certaines ont tendance à entrer et à sortir du périmètre de la captation pour vérifier la reproductibilité de la réponse sonore (Elise, Clara, Roxanne). D'autres préfèrent définir d'abord les limites des zones interactives en en explorant le diamètre (Margot, Marine). Plusieurs personnes, une fois dans la zone de captation, essaie d'allonger une partie du corps afin de trouver le centre de la région sonore (Stefania, Elodie, Mathilde). Toutes ces stratégies configurent une forme d'appropriation corporelle de l'espace. L'environnement n'est pas simplement exploré, mais il est découvert au sens émotionnel du terme : en associant une certaine présence sonore à une géographie de l'espace personnel, l'environnement devient quelque chose "d'habitable", marqué par des repères significatifs. Ce processus de catégorisation perceptive et de résonance imaginative repose clairement sur la mise en connexion entre perception haptique, dimension kinesthésique et retours sonores .

[568] Cf. vidéo "Typologie C - Référentiel Environnemental" https://vimeo.com/239813390 (mot de passe : pensée sonore)

Fig. 7 : l'exploration haptique de l'espace

Après avoir établi les frontières habitables de l'environnement, les étudiants commencent à jouer avec l'espace, désormais devenu familier. Sous cet angle, on peut noter deux tendances principales qui décrivent un rapport son-geste différent : une attitude plus proprioceptive et une attitude plus extéroceptive. Dans le premier cas, le mouvement se produit dans la recherche d'une cohérence formelle entre le geste dansé et la création des structures musicales. C'est le cas, par exemple, de tous les mouvements orientés vers la construction des patterns rythmiques ou qui reflètent, dans la composition du geste, la pulsation interne des objets sonores (Roxanne, Mathilde, Margot). Dans le deuxième cas, le mouvement, comme le geste, s'enracinent dans le processus d'intériorisation de la matière sonore. Ici l'information sensorielle qui est transformée en qualité corporelle (Clara, Elise, Stefania). Dans ce cas, le geste reflète l'effort d'habiter la morphologie sonore à travers un processus mimétique : la sensation interne provoquée par le son est projetée sur la matière corporelle qui devient ainsi le miroir déformant du *feedback* auditif. L'anatomie

virtuelle du corps est ainsi re-configurée sur la base des associations spontanée entre sensations proprioceptives et qualités du timbre du son. Bien que ces deux tendances révèlent une attitude personnelle, elles peuvent s'alterner au cours de la même improvisation dans l'espace. Ces deux typologies de processus de composition reflètent clairement la déterritorialisation du geste dont nous avons parlé. Tantôt les stratégies extéroceptives rythmiques tantôt les stratégies proprioceptives révèlent une multiplication de la fonction du geste. Bien évidement tout geste déclenchant les sons est un geste de production sonore. Cependant, dans le premier cas on remarque une tendance du geste à assumer également une fonction d'accompagnement, tandis que dans le deuxième cas les gestes, étant le résultat d'une interprétation expressive du son, superposent une fonction communicative à la fonction productive.

Une dernière considération concerne la perception de l'espace comme interface. Le troisième exercice s'inspire bien évidemment du paradigme de l'espace sentant. Dans ce cas, l'espace est censé être l'interface réelle. Certaines stratégies de conception de l'interaction (grand espace de détection, invisibilité des régions sonores, variété de typologies de modulations, matériaux de sons électroacoustiques) induisent, au moins dans les premières phases (exploration et appropriation de l'espace), la sensation que l'espace expérimenté est «quelque chose ayant une vie intérieure » (Elise). L'interaction est donc perçue comme une propriété intrinsèque à l'environnement. L'attitude exploratoire démontre comment les sons sont ressentis comme des qualités réelles, des réactions de l'espace vivant à la présence du corps en scène. Une petite partie des étudiantes (Roxanne, Mathilde, Margot) ont interagit avec l'espace de manière plus instrumentale (comme si l'espace était un instrument à jouer). Il s'agit des mêmes étudiantes ayant une attitude plus rythmique à la composition du geste. Ces étudiantes ont surtout perçu les interactions sonores comme des qualités extra-diégétiques de l'espace réel. En d'autres termes, pour elles les sons ne sont pas des propriétés de l'environnement mais de retours produit par le mouvement. Le centre de l'interaction n'est donc pas l'espace mais leurs mouvements. Dans ce cas particulier, les étudiantes ont utilisé l'espace comme instrument de déclenchement sonore capable de sonoriser des mouvements dansés. Du point de vue de la composition, les régions sonores sont traversées rapidement afin de créer des effets rythmiques d'accompagnement du mouvement. Les autres étudiantes, au contraire, ont plutôt créé des mouvements en supposant que les sons étaient des caractéristiques de l'espace réel (qualités diégétiques). Par cela elles se sont laissées affecter

physiquement par les qualités de la matière sonore. Dans ce cas, elles étaient intéressées à incorporer la morphologie sonore et à produire des modulations musicales assez graduelles. Cet exemple nous montre donc que la valorisation imaginative s'avère être déterminante dans le processus de catégorisation perceptive de l'espace. En partant du répertoire sensori-moteur ainsi que des attitudes émotionnelles de chacune, l'espace est valorisé et défini selon une topologie virtuelle qu'émerge par le biais du mouvement. L'interactivité sonore présent l'avantage remarquable de stimuler au même temps une résonance physique (au sens suggéré par la cognition musicale incarnée) et une résonance imaginative (favorisée par l'absence de stimuli visuels et par la variété sonore) tout en rendant visibles les mécanismes de reconfiguration de l'anatomie virtuelle du corps.

6.4 Considérations sur l'expérience

Les trois expérimentations composant l'étude de cas nous montrent de façon claire que le processus de composition du mouvement se déroule selon des principes d'énaction. Dans les cas présentés, le mouvement s'avère être en effet une sorte de négociation entre certaines attitudes personnelles (répertoire des gestes, sensibilité émotionnelle, résonance imaginatives) et les caractères vibratoires de l'environnement sonore interactif proposé. Si donc les approches individuelles représentent une variable importante dans l'établissement du rapport avec l'interface, les qualités spécifiques du sytème (modalités d'interaction et retours sonores) constituent le modèle d'adaptation principal dans le processus de reconfiguration corporelle. Dans le deuxième exercice, par exemple, j'ai noté plusieurs attitudes à l'interaction (instrumentale, corporelle, environnementale) reflétant les différentes sensibilités des étudiantes. Même dans le premier exercice, les différents niveaux d'immersion dans le processus interactif reflètent une variété d'attitudes personnelles au mouvement que le son peut, dans une certaine mesure, valoriser. En effet, un lien assez évident entre la qualité sonore et la qualité du mouvement a été également observé. Comme on l'a remarqué, ce lien s'avère être particulièrement intéressant en ce qui concerne le rapport morphologique entre sonorité liquide/granulaire et mouvements fluides ainsi que pour les effets de gravité induits par la variation du contenu spectral du son. Une telle considération s'inscrit d'ailleurs dans la réflexion générale proposée au sein de la théorie moto-mimétique de la musique par Rolf Gødoy et l'équipe

d'Oslo. Dans une étude récente ils proposent une taxonomie cohérent entre certains aspects morphologiques de la musique (intensité, hauteur, etc.) et du geste[569]. Néanmoins, la méthode d'analyse présentée se limite à l'étude des seuls gestes d'accompagnement, à savoir des gestes en réaction au phénomène acoustique. En cela les processus de l'organisation perceptive du mouvement ne sont pas interrogés. Dans notre cas, la relation entre morphologie sonore et motrice se base sur une complexité majeure impliquant tantôt des gestes de réaction tantôt des gestes de production. Souvent les deux se superposent. L'adaptation du mouvement au son s'articule alors non seulement par rapport aux aspects morphologiques du son mais aussi en fonction du contrôle du processus sonore. Dans une autre étude récente, Emma Frid, Roberto Bresin, Paolo Alborno et Ludvig Elblaus, ont étudié les effets de certains modèles sonores sur les mouvements spontanés des enfants[570]. Dans cette étude le son affecte le mouvement tandis que, en meme temps, le son est affecté par des modèles gestuels. Les résultats proposés montrent une relation très claire entre qualité du mouvement et qualités morphologiques de la musique. Cependant, les effets de la musique sur les mouvements et l'analogie entre qualités motrices et qualités sonores sont analysés de manière autonome. L'effet de la sonorisation interactive sur la composition du mouvement n'est pas suffisamment approfondi. Je rappelle d'ailleurs que dans notre proposition la nature extensive/intensive du *feedback* acoustique est valorisée : la rétroaction sensorielle se présente comme effet du geste aussi bien que comme retour sur l'activité physique. Le *feedback* est ici le résultat de l'action exécutée et, au même temps, l'information affectant l'action. Ce double effet du *feedback* s'inscrit clairement dans une conception *énactive* de l'interaction. Les mouvements proposés par les étudiantes ne sont pas, dans notre cas, une simple réaction ou une description mimétique du son. Ils sont plutôt le résultat d'un processus de reconfiguration de l'anatomie corporelle intégrant une morphologie sonore spécifique dans un répertoire kinesthésique préalable. Le fait que le mouvement soit en meme temps cause et effet de l'interaction sonore confirme d'ailleurs un des principes clé de la théorie de la cognition musicale incarnée.

---

[569] Rolf I. GODØY et al., "Exploring Sound-Motion Similarity in Musical Experience" in *Journal of New Music Research*, 45(3), 2016, p. 210-222.

[570] Emma FRID et al., "Interactive Sonification of Spontaneous Movement of Children–Cross-Modal Mapping and the Perception of Body Movement Qualities through Sound" in *Frontiers in Neuroscience*, 10(521), 2016, URL : https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5104747/ Consulté le 11/09/2017.

En agissant comme extension et intensification du mouvement, l'interaction rend visible le fonctionnement de la boucle action/perception : la nature exploratoire des interactions proposées a permit en effet d'observer tantôt la plasticité des processus d'intégration sensorielle tantôt la nature dynamique du contrôle sonore par le geste en en montrant les connexions intimes. Le processus d'incorporation de l'interface décrit à propos du deuxième exercice en est un exemple. Trois phases composant la transition d'une kinesphère sonore à l'autre ont été mises en lumière : perturbation, réorganisation et recherche de cohérence. Ces trois phases montrent une évolution graduelle de la relation geste-son qui passe par une adaptation dynamique de la boucle action/perception. En se composant de moments liés à la production sonore et à la connaissance du mouvement par le son, l'expérience permet en outre de rendre visible le couplage action/perception tantôt en direction de la perception tantôt en direction de l'action[571]. Cette transition conduit d'ailleurs à une reconfiguration générale de l'anatomie corporelle.

Une dernière considération concernant la boucle action/perception vient du dernier exercice. Dans cette expérience, l'espace de la scène n'est pas seulement perçu comme un système réactif mais comme un véritable espace sentant. Comme il a été remarqué par certaines d'étudiantes lors de nos échanges (Clara, Elise, Mathilde, Stefania, Marine), les aires interactives ne sont pas simplement vues comme des lieux sonores mais plutôt comme « des entités » quasi-réelles répondant à une exploration gestuelle. Ces explorations suggèrent des postures motrices à adopter. En ce sens, on peut affirmer que cet espace est en mesure de communiquer de véritables *affordances*, à savoir des possibilités d'action. Il convient de noter que dans sa formulation originale, seuls les stimuli visuels sont considérés comme de véritables producteurs d'*affordances*[572]. Même dans le cas des *affordances* sonores discuté par Gødoy[573], l'*affordance* est une capacité liée au répertoire idiomatique de l'instrument en tant qu'objet manipulable. À la limite, l'écoute de

---

[571] Pieter-Jan Maes et al., soulignent une double orientation de la boucle action/perception. Le modèle perception > action concerne principalement l'expérience de la production sonore, tandis que le modèle action > perception concerne plutôt l'expérience de l'écoute. Bien évidemment tous les deux sont des modèles actifs et passifs en même temps. Cf. Pieter-Jan MAES et al., "Action-based effects on music perception", *op. cit.*

[572] Cf. James J. GIBSON, *op. cit.*

[573] Ralf I. GØDOY, "Gestural Affordance of Musical Sound", *op. cit.*

la musique, en absence de stimuli visuels, peut induire des *affordances* mais toujours liées au geste instrumental. Néanmoins, les expériences proposées dans cette étude montrent que l'information sonore peut produire l'émergence de véritables affordances par rapport à l'espace interactif. Les informations acquises dans l'environnement (qualités sonores, coordonnées spatiales, réactions dynamiques à l'interaction gestuelle) suggèrent une série d'actions possibles : traverser rapidement une région sonore, créer une séquence musicale en interagissant de manière rythmique avec l'espace, s'attarder dans une aire interactive pour produire un bourdon, etc.. Toutes ces actions dérivent d'informations auditives et, conjointement, d'informations kinesthésiques. De plus, il est possible de supposer que, à côté de ces informations primaires, d'autres qualités, comme par exemple des informations somato-sensorielles, émergent au sein de l'expérience perceptive. À ce propos, il me semble opportun d'avancer l'hypothèse suivante : étant donnée l'absence d'informations visuelles, les informations acoustiques ont tendance à stimuler l'émergence d'une sorte de "potentiel tactile" qui affecte le mouvement. C'est bien l'émergence de ces éléments tactiles qui fait que des *affordances* se produisent en permettant d'accomplir les « possibilités d'action » contenues dans le système interactif. Ces qualités, bien évidemment, se produisent par le biais d'une valorisation imaginative. Néanmoins il est possible de supposer que les actions induites par les sons ne sont pas totalement arbitraires mais qu'elles reflètent la constitution phénoménologique du son. Godøy, présente certaines analogies entre objet sonores, qualité de l'action et imaginaire tout en remarquant la connexion intime avec le couplage action/perception[574]. L'événement sonore se manifeste en effet à partir des éléments organiques comme ses qualités matérielles, la morphologie du corps résonant ou l'espace de réverbération. Toutes ces qualités sont perçues non seulement comme des informations auditives, mais aussi comme des *feedbacks* tactiles qui se réverbèrent par exemple au niveau proprioceptif dans la variation du tonus musculaire. Bien que ces convergences multimodales puissent se manifester dans toute expérience d'écoute, le cas particulier de l'interaction en temps réel permet une valorisation de cette expérience. Les sensations tactiles qui émergent à partir des informations auditives et kinesthésiques sont, dans ce cas, une réponse à l'immatérialité de l'environnement interactif. Elles reflètent la constitution matérielle de l'objet sonore. En revenant sur une expression déjà rencontrée, les sensations auditives stimulent, dans le cas de l'interaction gestuelle, l'émergence d'un « chiasme intersensoriel ». La sensation

[574] Rolf I. Godøy, "Images of Sonic Objects" in *Organised Sound*, Cambridge University Press, 15(1), 2010, p. 54- 62.

somato-sensorielle est, en ce sens, un simulacre tactile qui accompagne la perception sonore. Tout cela ne fait que confirmer la nature multimodale de l'expérience perceptive et sa connexion intime avec la composition du mouvement. Des recherches futures devraient analyser en profondeur la manière dont les *feedbacks* sonores interactifs « informent » les processus imaginatifs liés à la composition du geste. Cela doit se développer tantôt du point de vue de la constitution phénoménologique du son (en accord avec la perspective de Gødoy), tantôt en partant des récits subjectifs en rapport à la visualisation des objets sonores. Enfin, il faudrait évaluer dans quelle mesure la participation gestuelle, ayant une fonction ergotique, liée donc à la modification matérielle d'un objet, affecte les processus spontanés liés à l'imagination sonore et kinesthésique. Dans le prochain chapitre nous essayons d'aborder certaines de ces questions en traitant particulièrement de la problématique de l'intégration multimodale.

Troisième Partie

Pratiques créatives

Chapitre 7

Intégration multimodale et composition du geste.

Le feedback sonore comme moyen de reconfiguration.

7.1 Intégration multimodale et médiation technologique

Cette troisième partie de la thèse sera intégralement consacrée à l'analyse des pratiques créatives dans le contexte de la médiation technologique et de l'interaction avec le son. Trois approches différentes seront proposées. Dans ce chapitre je présenterai deux études de cas dans le cadre de la pédagogie et de l'analyse du mouvement. Les expériences décrites se situent en continuité avec celles présentées dans la deuxième partie du sixième chapitre. Les deux derniers chapitres seront consacrés à l'analyse des processus créatifs dans le contexte de la composition sonore interactive pour le spectacle vivant et pour la performance. Le but de cette partie consacrée à la pratique n'est pas uniquement de vérifier expérimentalement les présupposés théoriques élaborés dans la première et dans la deuxième partie. Les études de cas ont plutôt la fonction d'étendre et de stratifier le cadre théorique présenté précédemment en partant d'une modalité de production de la connaissance spécifique aux différentes contextes pratiques. Pour cela, un point de vue principalement subjectif et ethnographique basé sur la description des processus et l'observation empirique sera privilégié.

Du point de vue méthodologique, les approches adoptées permettront d'enquêter sur le rapport entre composition du geste et médiation technologique afin d'observer dans quelle mesure le *feedback* sonore sollicite une prise de conscience du mouvement. En particulier, ce qui m'intéresse de mettre en lumière est comment le sonore, en agissant comme source informationnelle et comme facteur d'extension/ intensification, permet de réorganiser les processus physiologiques à la base de la construction et de la figuration du mouvement. Les exemples proposés montreront en effet comment la perception du phénomène sonore est au centre d'un processus complexe de reconfiguration de l'anatomie corporelle qui passe par la remise en question des rapports ordinaires régulant proprioception, apparat sensori-moteur et imagination. Pour cela certains paradigmes clés liés de la cognition musicale incarnée, comme la boucle perception/action, les processus multimodaux, ou encore les catégories fonctionnelles du geste musical, seront interrogés.

7.1.1 Contexte et méthodologie des expériences proposées

Dans le chapitre précédent, le dispositif pédagogique et technologique mis en place avait une finalité principalement exploratoire et générale. Les études de cas présentées dans ce chapitre seront axées sur des problématiques plus pointues. Dans le cadre du projet "Corps Sonore. Applications interactives pour l'analyse du mouvement et la recherche pédagogique", nous avons poursuivit l'expérimentation avec les nouvelles technologiques pendant l'année universitaire 2016-2017. Cette expérimentation pédagogique s'est déroulée au sein de deux cours de la troisième année de la Licence en Arts du Spectacle, spécialité Danse : "Analyse du Mouvement" et "Analyse de l'enseignement". A partir d'un ensemble d'exercices, spécifiquement conçus à ce propos, les étudiants ont été invités à tester des outils interactifs (détection optique, captation du mouvement, *bio-feedback*) et à expérimenter différentes typologies d'interaction avec le son. Le travail pédagogique a été axé sur quatre thématiques : 1. La notion de kinesphère; 2. La notion de densité de l'espace; 3. La dimension d'haptique; 4. L'écoute en relation au toucher. Ces expériences ont permis de toucher de manière concrète certaines thématiques déjà abordées avec les étudiants du point de vue théorique comme la question de la nature multimodale de la perception, la conscience du geste et ses racines proprioceptives, la relation allocentrique entre corps et espace vécu. Dans ce chapitre je vais présenter deux expériences en particulier axées sur la question de la relation entre composition du geste et processus d'intégration multimodaux.

Du point de vue méthodologique, nous avons modifié la structure du dispositif pédagogique afin de préciser l'apport du *feedback* sonore dans le processus de composition du mouvement. À ce propos, les exercices ont été librement inspirés par certaines pratiques somatiques issues de l'analyse du mouvement en danse[575]. En particulier, nous avons réadapté à nos desseins la structure typiquement tripartite de ce genre de pratiques. D'abord, des indications verbales sont données aux étudiants. Normalement il s'agit de les inviter à explorer un certain mouvement dans l'espace. Ensuite une deuxième expérience est proposée

[575] Pour une introduction au rapport entre analyse du mouvement, pratique somatiques et pédagogie je revoie à Isabelle GINOT, "Discours, techniques du corps et technocorps" in Paule GIOFFREDI (dir.), *A la rencontre de la danse contemporaine : porosités et résistances*, Paris, L'Harmattan, 2009, p. 265-293; Marcilio S. VIEIRA, "Approches Somatiques du Corps dans la Danse" in *Revista Brasileira de Estudos da Presença*, 5(1), 2015, p. 127-147.

afin d'introduire de nouvelles informations sensorielles et kinesthésiques. Enfin, les étudiants reviennent sur le mouvement initial en essayant d'intégrer les nouveaux éléments perceptifs découverts dans la deuxième phase. Ici, une nouvelle organisation sensori-motrice et une nouvelle anatomie virtuelle du corps devraient émerger. Comme on le verra plus précisément lors de la description des exercices, les capteurs de mouvement sont introduits dans la deuxième partie de l'expérimentation. Ce choix méthodologique permet d'évaluer dans quelle mesure le *feedback* sonore affecte le mouvement ainsi que les processus imaginatifs qui sont à la base du geste.

En ce qui concerne l'analyse de l'expérience, l'approche qualitative a été encore une fois privilégiée. En accord avec une perspective écologique, nous considérons que cette méthode est plus riche afin d'éclairer la complexité de l'expérience subjective en interaction avec l'environnement sonore. En particulier, un autre outil d'enquête a été ajouté à ceux expérimentés dans l'étude de cas précédente. Les étudiantes ont été invitées à rédiger un "carnet de bord" dans lequel elles devaient décrire leur impressions par rapport à l'expérience proposée. Les carnets de bord ont été collectés à la fin du semestre (janvier 2017). Les réflexions présentées dans ces études de cas sont pourtant le résultat de quatre méthodes de collecte de données : 1. Observation directe; 2. Discussion avec les étudiantes à la fin de l'expérience; 3. Carnet de bord; 4. Analyse de la documentation audiovisuelle produite pendant les sessions.

7.2 Étude de cas n.1 : perception haptique et feedback sonore

La première étude de cas a pour objet l'exploration de la relation perception haptique-mouvement par le biais du *feedback* sonore. Le but de cette expérimentation est d'analyser de quelle manière la connexion multimodale entre *feedbacks* haptiques et acoustiques interagit dans le cadre de la composition du mouvement. Tout l'exercice se déroule autour de la manipulation d'un objet. À ce propos, une application spécifique a été créée en MaxMsp. Le but de cette application est de sonoriser certains mouvements liés aux gestes de manipulation. À cette fin, deux interfaces ont été employées : un *Hot Hands Midi Controller* et un *MYO Armband*. Le Hot Hands est un dispositif gestuel pour le contrôle continu des paramètres sonores exploitant la rotation d'un accéléromètre sur les trois axes. Il s'agit du même dispositif employé dans le

premier exercice présenté. Le Hot Hands a été choisi car il permet d'extraire des valeurs assez précises et stables par rapport au mouvement de la main. Le MYO Armband est un bracelet que l'on peut endosser sur le biceps ou sur l'avant-bras. Il s'agit d'un dispositif assez sophistiqué contenant plusieurs capteurs (accéléromètre, gyroscope, capteur d'orientation, EMG). Dans le cadre de cette expérimentation, seulement les capteurs d'électromyogramme ont été utilisés. L'électromyographie est, comme on l'a vu, une technique d'analyse de bio-signaux issue du domaine médical, permettant d'enregistrer l'activité électrique des muscles squelettiques. Les données brutes consistent en huit signaux (correspondant aux huis plaques métalliques présentes à l'intérieur du MYO). La manipulation étant au cœur de l'expérience pratique, un algorithme spécifique a été réalisé afin de détecter non seulement la contraction musculaire du bras mais les petits mouvements de la main aussi. Cela a permis de sonoriser des éléments assez subtils du geste[576].

7.2.1 Conception écologique du design sonore interactif

Le but didactique du système interactif est d'enrichir l'expérience haptique par le biais du *feedback* acoustique. En ce sens, la production sonore n'est pas conçue en termes instrumentaux mais plutôt du point de vue du potentiel épistémique du son, c'est-à-dire la capacité du son de convoyer des informations à propos du mouvement. La fonction intensive est donc privilégiée par rapport à la fonction extensive (bien que les deux ne soient pas séparable de façon absolue). Pour cette raison, l'interaction est conçue dans le but d'accomplir un haut degré de transparence pour l'*interacteur*. Le but n'est pas d'induire une exploration du système interactif mais de sonoriser une activité non-musicale afin d'évaluer les effets du *feedback* sur l'organisation perceptive du mouvement. Deux éléments du design sonore reflètent, en outre, une approche écologique à la composition interactive : l'interdépendance des paramètres du mapping et la qualité tactile des objets sonores composés. En particulier, je me suis inspiré des concepts de mapping multimodale et d'interaction viscérale proposés par Atau Tanaka et auxquels j'ai fait référence à la fin du quatrième chapitre[577]. L'interdépendance des paramètres musicaux reflète, métaphoriquement, l'interconnexion des nos récepteurs sensoriels. Comme il a été analysé dans le premier chapitre, certaines fonctions élémentaires

[576] Pour une description détaillée des algorithmes développés je renvoie tout particulièrement au dernier chapitre.

[577] Cf. *supra* p. 203.

de la physiologie humaine se basent sur l'interaction croisée d'un grand nombre de systèmes sensoriels[578]. De la même manière, l'application développée se base sur l'interaction de bas niveau entre différents paramètres musicaux. Cela favorise une modalité d'interaction holistique et intelligible pour l'*interacteur*. Les trois rotations de la main (les étudiantes pouvaient choisir librement d'utiliser la main et le bras droits ou la main et le bras gauches) permettent de réaliser un *morphing* entre trois différents objets sonores[579]. Chaque rotation de la main est interconnectée aux autres en produisant la sensation d'une interdépendance totale du processus de synthèse sonore. Ces paramètres permettent une interaction micro-structurelle. La contraction musculaire contrôle deux filtres (un filtre passe-bas et un filtre passe-bande) permettant donc une modulation du timbre plus globale. Le relâchement semi-total du muscle est détecté par l'algorithme afin de déclencher le silence. Cet algorithme se base donc sur une analogie perceptive assez intuitive entre le geste ergotique de la manipulation et le processus sonore : l'activité musculaire produit du son, les rotations de la mains déterminent des variations internes du timbre et l'absence d'activité correspond au silence. En se basant sur l'action conjointe de l'activité isométrique et de l'activité isotonique, cette architecture du mapping permet pourtant un contrôle multimodal du son. Une telle stratégie incarnée rapproche l'interaction du fonctionnement holistique du mouvement humain.

Du point de vue du design sonore, j'ai décidé de composer des sonorités évoquant l'aspect tactile de l'expérience auditive. Cette stratégie a pour but de stimuler l'émergence de connexions intermodales au sein de l'expérience perceptive. À cette fin, un ensemble de sonorités électroacoustiques ont été employées. En particulier, deux sons de synthèse additive ont été combinés à des enregistrements de crépitement et de craquement (papier chiffonné, feuillage, crépitement du feu). Ces derniers sons ont été traités par un algorithme de synthèse granulaire de manière à obtenir une sonorité assez fluide. Les trois objets sonores (deux sons de synthèse et un son de craquement traité) ont été associés aux trois rotations avec des poids différents afin de donner aux sonorités de craquement une prédominance en termes acoustiques. Le type de

---

[578] Un exemple paradigmatique est la connexion entre système vestibulaire et le sens d'équilibre. Voir à ce propos Alain BERTHOZ, *Le sens du mouvement, op. cit.*, p. 50-70.

[579] Le "*morphing*" est une technique audionumérique permettant de transformer un objet en un autre en partant des caractéristiques spectrales des sources. À ce propos un algorithme spécifique a été créé avec MaxMsp en exploitant le principe de re-synthèse du son (Transformation de Fourier rapide Inverse).

traitement utilisé ainsi que les modulations en temps réel renvoient à une conception radicalement acousmatique : les sons produits permettent d'évoquer des sensations *audiotactiles* de craquement sans pourtant rappeler des images précises liées à des objets réels[580].

7.2.2 Description de l'expérience

Neuf étudiantes inscrites en troisième année de la Licence en Arts du Spectacle, spécialité Danse, ont participé à l'expérience. La session s'est déroulée sur trois heures dont la dernière demi-heure a été consacrée aux retours des étudiantes sur l'expérience. En partant du modèle tripartite discuté plus haut, un dispositif pédagogique intégrant la médiation technologique a été élaboré. L'exercice est divisé en trois parties principales. Chaque partie correspond à un niveau différent d'implication sensorielle :

1. Expérience haptique + mouvement avec et sans les objets
2. Expérience haptique + *feedbacks* sonores et manipulation des objets
3. Expérience haptique + *feedbacks* sonores + mouvement sans les objets

Les étudiantes sont d'abord invitées à choisir un objet parmi une quinzaine d'objets que nous avons sélectionné préalablement (bouteilles en plastique, matériels d'emballage, écharpes, serviettes, etc.). Les objets ont été choisis dans le but de proposer une palette assez large de matériaux. La première partie de l'exercice s'articule en trois phases différentes. L'évolution de ces phases permet d'expérimenter une connexion graduelle entre stimuli tactiles, proprioception et mouvement. Dans cette partie les étudiantes ont les yeux fermés de manière à éliminer les stimuli visuels en sollicitant ainsi la concentration sur la dimension haptique de l'expérience. Pendant la première phase, les étudiantes sont invitées à explorer, avec les mains, les objets qu'elles ont choisi (Fig. 8). Cette section de l'exercice a pour but d'orienter l'attention perceptive sur les *feedbacks* haptiques dérivant des objets (forme, plasticité, poids, texture, qualités dynamiques, etc.). Dans la deuxième phase, les étudiantes sont invitées à poser les objets et à reproduire les

[580] Cf. également la notion de "*remote surrogacy*" élaborée dans Dennis SMALLEY, *op. cit.*

mouvements de manipulation sans le support de l'objet (Fig. 9). Dans ce cas, il s'agit de reproduire une série de gestes à partir des informations haptiques mémorisées (les qualités tactiles de l'objet et la position de ceux-ci par rapport au corps). Dans la troisième phase, nous demandons aux étudiantes d'intégrer les sensations haptiques mémorisées dans des mouvements impliquant le corps entier. Cette section s'avère être très intéressante en raison de la variété des mouvements proposés. Deux variables remarquables ont émergé dans le processus de transition des qualités de l'objet dans le mouvement : d'un côté on observe que les mouvements sont affectés par les qualités structurales de chaque objet, de l'autre on remarque un niveau subjectif d'incorporation montrant les différentes attitudes motrices des étudiantes. Chaque étudiante, en effet, se focalise seulement sur certains aspects de l'objet. Certaines, par exemple, se concentrent sur le poids de l'objet en transposant cette qualité dans la gravité appliquée au mouvement (ex. objet lourd = mouvement lourds). D'autres exploitent la plasticité ou la texture de l'objet afin d'établir une qualité spécifique du geste. Déjà dans cette phase, la valorisation imaginative des sensations tactiles semble jouer un rôle remarquable. Le corps de l'objet devient en effet un pattern virtuel permettant d'organiser perceptiblement la composition du mouvement. Dans ce cadre les caractéristiques qu'on a attribué au virtuel[581], à savoir les mécanismes de projection (le projet moteur qui prépare et en même temps anticipe le mouvement) et de figuration (la transfiguration affective et symbolique du geste) émergent de manière assez claire. Dans le rapport particulier que chaque étudiante entretien avec l'objet, une "simulation" (au sens de Michel Bernard et de Hubert Godard) se développe permettant de transposer certaines qualités de l'objet dans le corps en mouvement. Une série de facteurs entrent en jeu dans ce processus de virtualisation impliquant la relation corps-objet : le nombre de contacts, leur localisation anatomique, l'homologie entre les régions touchées, le degré de symétrie, et d'autre encore. Tous ces éléments deviennent une base sensorielle sur laquelle élaborer une modélisation qualitative de l'objet sous forme de patterns perceptibles qui sont ainsi transposés de l'objet à l'anatomie corporelle[582].

[581] Voir en particulier le paragraphe "La virtualité du réel" : cf. *supra*, p. 44-52

[582] Cf. vidéo "Étude de cas 1 (Première Partie)" vimeo.com/240144683 (mot de passe : pensée sonore)

Fig. 8 : Exploration avec l'objet

Fig. 9 : Mouvements basés sur l'objet

La deuxième partie de l'exercice intègre la médiation technologique. Les étudiantes sont invitées à répéter l'exploration de l'objet en endossant les deux capteurs (MYO et Hot Hands). Dans cette phase, nous ne demandons pas aux étudiantes de produire du son de façon intentionnelle. Par conséquent, les *feedbacks* sonores doivent surgir comme un écho de la manipulation de l'objet (Fig. 10). Dans cette phase les étudiantes sont libre d'ouvrir les yeux. J'ai pu remarquer que toutes les étudiantes ont débuté l'expérience avec les yeux fermés pour les ouvrir au cours de l'exercice sans que des indications ont été données à ce propos. L'organisation perceptive du geste se base ici sur au moins trois facteurs : les stimuli visuels, les perceptions haptiques (tactiles et proprioceptives) et les *feedbacks* acoustiques produits par le

biais de l'interaction. Certains objets produisent en outre des bruits acoustiques pendant la manipulation.

Fig. 10 : Manipulation avec les objets et les capteurs

Dans la troisième partie de l'exercice, les étudiantes doivent répéter les gestes de manipulation sans l'objet. À cette occasion les *feedbacks* sonores ont une importance remarquable. En absence des stimuli visuels et haptiques, le processus d'incorporation de l'objet s'enracine sur deux éléments : les sensations acoustiques et la mémorisation des informations haptiques. Dans la dernière section de cette troisième partie, nous demandons aux étudiantes de créer des mouvements à partir de l'ensemble des sensations perçues. Tout comme dans la première partie, les étudiantes composent les mouvements en évoquant les propriétés structurales des objets (dimension, plasticité, etc.). Même ici, certaines qualités sont privilégiées. Toutefois dans ce cas le son informe l'exécution du geste. La nature ergonomique des dispositifs interactifs ainsi que la typologie de mapping permet de reproduire des interactions sonores similaires tantôt avec des gestes de manipulation tantôt avec des mouvements dansés impliquant les membres supérieurs (Fig. 11).

L'interaction est ici conçue comme "trace sonore" orientant le dispositif pédagogique[583].

Fig. 11 : Exploration libre avec les capteurs en gardant la qualité de l'objet

7.2.3 Considérations sur l'expérience

Les récits issues de carnets de bords des étudiantes aussi bien que les observations faites lors de l'analyse des vidéos[584], mettent en lumière la double fonction de l'objet. D'une part source principale de l'expérience perceptive, de l'autre contrainte physique pour le mouvement, l'objet oriente la construction du geste en affectant ainsi la conscience proprioceptive du mouvement. Les commentaires des étudiantes montrent que

[583] Cf. vidéo "Étude de cas 1 (Deuxième/Troisième Partie)" vimeo.com/240147954 (mot de passe : pensée sonore)

[584] À la fin du cours nous avons consacré une matinée (trois heures) à l'analyse des vidéos avec les étudiants. L'analyse a eu pour objet cette expérience ainsi que l'exercice discuté dans la prochaine étude de cas.

l'objet n'est pas un élément neutre. Il est quelque chose « qu'influence l'imagination du mouvement » (Bérangère)[585]. En effet, dès la première exploration l'objet définit les limites de l'implication sensori-motrice ainsi que de l'expérience perceptive. Il ne s'agit pas d'une implication passive. Les propriétés de l'objet ne sont pas simplement acquises. Elles sont intégrées dans le répertoire kinesthésique de chaque étudiante (relativement à son bagage culturel, émotionnel et technique). L'action apparement simple de manipuler un objet n'est pas pourtant une opération neutre. Elle révèle une forme de négociation entre les qualités matérielles de l'objet et la sensibilité haptique de chaque étudiante. La nature spécifique et subjective d'une telle interaction se réverbère dans le mouvement. Les propriétés de l'objet choisies pour composer le mouvement sont en effet sélectionnées de manière fonctionnelle : « Il s'agit je pense d'une choix inconsciente mais pas anodine car on [..] choisit par rapport à notre propre "gestuelle" et avec notre façon de voir l'objet ainsi que la manière dont on se projette avec (choix aussi affective, on choisit un objet qui nous plaît, avec lequel on a envie de travailler/expérimenter » (Clémentine). Ce passage prend forme par la médiation de la proprioception et des processus imaginatifs. Malgré la diversité des explorations gestuelles proposées, un certain nombre d'éléments communs peuvent être mises en lumière. Pendant la première partie de l'exercice, deux processus sensori-moteurs émergent dans toutes les improvisations. Après avoir posé l'objet au sol, les étudiantes sont invitées à reproduire les gestes de manipulation. Comme il a été noté par la plupart des étudiantes dans leurs carnets, le processus de reproduction des gestes implique tout d'abord une re-actualisation somatique des mouvements mémorisés : « Je me suis inspirée des différentes qualités de l'objet (sa forme, son poids, ses qualités dynamiques) pour construire des mouvements. J'ai imaginé que les qualités de l'objet devenaient la qualité de mon corps. » (Mathilde). Déjà dans cette phase les étudiantes sont ainsi encouragées à prendre conscience des processus perceptifs d'organisation du mouvement. Le deuxième aspect concerne la virtualisation du geste dans le mouvement du corps exécuté d'abord dans l'espace proche. Comme je le suggérais, l'accomplissement d'une telle tâche passe par l'incorporation des qualités matérielles de l'objet. En analysant les vidéos, on remarque que la texture de l'objet, c'est-à-dire l'ensemble de ses qualités tactiles, est la propriété qu'on retrouve le plus

[585] Toutes les phrases entre guillemets sont issues des carnets de bord des étudiantes. Des extraits de ceux-ci sont reportés à la fin de la thèse sous forme d'annexe (cf. Annexe 1 - Carnets de Bord)

souvent dans les mouvements des étudiantes[586]. De la même manière, la plasticité de l'objet (c'est-à-dire sa malléabilité) semble influencer la qualité du geste, surtout en termes d'effort, tandis que le poids affecte notamment la dimension gravitaire du mouvement : « Pendant l'exploration de l'objet j'ai pu observer que chaque objet engage une manipulation propre à celui-ci. […] Dans mon cas, je pouvais tirer le papier, le tordre, le faire voler, le frotter ou le bouger agilement dans l'espace. […] Dans la partie d'improvisation dansée, mes mouvements s'inspirent de ces qualités dynamique de l'objet. ». Comme il a été noté par certaines étudiantes, la plasticité de l'objet n'informe pas seulement la qualité du geste mais la qualité de l'espace proche aussi. Par exemple, un objet léger aide à imaginer un espace souple : « dans la partie dansé, j'étais complètement dans cette expérience que se diffusais dans la sensorialité de l'espace. Je ressentais chaque sensation, la mobilité que je pouvais avoir avec l'objet. Je ressentais cette sensation dans l'espace : la légèreté, la souplesse, la douceur. » (Bérangère). Tous ces éléments révèlent une transition des informations haptiques d'un niveau extéroceptif à une conscience proprioceptive. Ce passage influence, par conséquent, l'organisation perceptive du mouvement. D'autres exemples de manipulation montrent comment certaines qualités de l'objet sont plus aisément intégrées dans le mouvement. Un exemple assez claire vient d'une étudiante (Laura) qu'a utilisé dans son improvisation un emballage, type film bulle, de grande taille. Le caractère assez malléable de l'objet permet de le déformer aisément. Un des gestes récurrents dans l'exploration de cette étudiante était celui d'enrouler le papier. Ce geste est facilement observable dans des mouvements plus étendus que l'étudiante a improvisé sans l'objet :

> « Chez Laura on perçoit clairement que son corps avait enregistré les informations acquises durant l'exploration avec l'objet ainsi que les informations sonores. Elle avait intégré par l'objet et par le son des sensations sensori-motrices, nettement lisibles lorsqu'elle n'était plus avec le papier bulle. On pouvait observer des actions musculaires et des gestes […] identiques à ceux observés dans l'exploration avec l'objet. »[587]

---

[586] Angelika : « Il ne s'agit pas vraiment de "penser à l'objet" mais plutôt de le "ressentir". Il faut retrouver l'objet sous forme de qualité motrice. »; Laura : « dans les improvisations […], on voit que les mouvements renvoient clairement à la qualité tactile de l'objet. ». Cf. aussi les autres Carnets de Bord en annexe.

[587] Marine, cf. Annexe 1

Ce geste est par exemple visible dans les mouvements "à spirale" de la colonne vertébrale. Dans ce cas, le geste d'enrouler devient un modèle, un pattern virtuel, utilisé pour construire le mouvement.

Fig. 12 : Évolution du geste de torsion aux mouvements à spiral des bras et de la colonne vertébrale

Considérons maintenant dans quelle mesure la médiation technologique, et le *feedback* sonore en particulier, informent l'exécution du geste. Comme il a été souligné par toutes les étudiantes, déjà dans cette première phase d'interaction sonore un changement en termes de sensations proprioceptives se produit. Si dans la première partie les sensations proprioceptives se réfèrent principalement au rapport avec l'objet (poids de l'objet et distance de celui par rapport au corps), les retours sonores dirigent l'attention également vers la variation du tonus musculaire. Tantôt pendant la discussion à la fin de l'expérience tantôt lors de

l'analyse des vidéos[588], les étudiantes ont en effet souligné que l'interaction sonore provoque, au moins initialement, « une sorte de choc » : « Au début les sons produits par le mouvement me perturbaient. Ils m'ont provoqué une sorte de choc. J'étais plutôt dans l'optique de produire du son que dans celle de reproduire les sensations éprouvées avec l'objet. » (Bérangère). Comme je l'ai remarqué à plusieurs reprises dans les chapitres précédents, la rétroaction sonore impose l'émergence d'une nouvelle hiérarchie au sein de l'organisation perceptive du mouvement. La sonorisation du mouvement constitue donc quelque chose de fortement inédit par rapport à l'expérience habituelle. Dans quelle mesure nous pouvons affirmer qu'une nouvelle organisation corporelle émerge lors de cette expérience? Considérons d'abord que certains gestes sont sonorisés et d'autres non. Cette simple constatation implique que certaines parties du corps sont "intensifiées" en termes de capacités sensorielles. Cela implique une réorganisation fonctionnelle de la géographie perceptive : les étudiantes doivent intégrer ce nouveau corps de synthèse (le corps sonore produit par l'interaction) à l'interne d'une anatomie habituelle, souvent composée par des mécanismes irréfléchis et des attitudes posturales reflétant l'histoire émotionnelle et existentielle de chacun[589]. Une telle opération implique d'abord la redéfinition des limites anatomiques du corps, qui transforment leurs lignes de frontières en seuils poreux. Évidemment la profondeur d'une tel processus de reconfiguration ne peut qu'être relative à la sensibilité individuelle et à l'expérience préalable de chacun. Le fait que les étudiantes ne connaissent pas les protocoles de fonctionnement du sytème interactif facilite d'un certain point de vue le processus de reconfiguration corporelle. De plus, n'ayant pas comme but la production sonore, l'attention perceptive des étudiantes est complètement orientée vers une dimension *immersive* plutôt que vers une dimension de contrôle. Certaines étudiantes ont justement observé que la deuxième partie de l'exercice se caractérise par une adaptation graduelle des *feedbacks* acoustiques spontanées aux sensations haptiques : « Les sons m'ont aidée à imaginer les qualités de l'objet comme étant dans l'espace autour de moi. Puis, dans l'improvisation dansée, les gestes pouvaient varier mais j'ai gardé la même qualité de la manipulation. Pour ma part, le son m'a aidé à retrouver ces sensations et ces qualités car j'arrivais à connecter un certain geste aux sons produits. » (Melyssa). En termes neuro-scientifiques ce passage implique une intégration

[588] Nous avons dédié une séance à l'analyse des vidéos avec les étudiantes à la fin du cours.

[589] Voir à ce propos Hubert GODARD, "Le Poids de Trans-actions" in *Age du corps, maturité de la danse*, Édition Le Cratère, Alès, 1997, p. 7-15.

multimodale entre *feedbacks* haptiques et acoustiques avec des conséquences (positives ou négatives) sur l'organisation perceptive du mouvement. L'interaction entre signaux bio-électriques (EMG) et production sonore et particulièrement intéressante à ce propos. La sonorisation de la tension musculaire produit en effet une sensation plutôt inusuelle. Comme il a été remarqué par une étudiante à la fin de l'expérience : « c'est comme si je perçois intérieurement quelque chose qui normalement est une sensation interne » (Clémentine). À l'inverse de ce qui se passe dans la première interaction avec l'objet (sans capteurs), le *bio-feedback* provoque un glissement de l'attention perceptive de la dynamique externe du geste (les sensations exteroceptives) à la dynamique interne (les sensations proprioceptives). Pourtant, grâce aux *bio-feedbacks*, la perception de la variation du tonus musculaire, en devenant audible, acquière une importance capitale dans le processus de composition du geste. Cette corrélation entre effort et génération sonore se reflète dans la re-production des gestes de manipulation (troisième partie). Comme je l'ai souligné, la ré-actualisation des gestes de manipulation n'implique pas seulement la mémoire somatique de l'expérience tactile. Dans ce cas, des gestes spécifiques sont spontanément associés à des modulations sonores particulières (et peut être à des images *audiotactiles* spécifiques). Le *feedback* sonore devient ici une *trace sensorielle* facilitant la ré-actualisation des mouvements liés à la manipulation. Il ne s'agit pas, évidemment, d'évaluer l'exactitude de la reproduction. Tantôt dans la ré-actualisation avec ou sans les *feedbacks* sonores, un processus de transformation est en action. De plus, certaines des étudiantes ont remarqué que la rétroaction sonore aide à recomposer le mouvement et que le processus de ré-actualisation s'avère être plus efficace par rapport à la première partie de l'exercice (sans capteurs) : « grâce au *feedback* sonore je me rendais compte de la force que je mettais dans mes mouvements, surtout pendant l'improvisation dansé. » (Clémentine) En absence d'objets matériels, le son « rend visibles » (Melyssa) les objets virtuels évoqués par les gestes de manipulation : « grâce au son, il me semblait que l'objet "devenais corps" et j'arrivais à sentir ses qualités dans mes mouvements. » (Clémentine).

D'autres observations intéressantes émergent de l'analyse de la toute dernière partie de l'exercice. Dans cette section les étudiantes sont invitées à étendre les gestes de manipulation aux mouvements du corps entier. Comme je le suggérais, il s'agit de virtualiser les informations perceptives à l'intérieur de l'organisation kinesthésique. Deux différents processus projectifs sont impliqués dans cette phase de

reconfiguration corporelle. D'abord les sensations tactiles et proprioceptives sont utilisées comme base pour une valorisation imaginative de l'espace (en termes de densité) en affectant ainsi la qualité du geste. Dans ce cas la reconfiguration virtuelle de l'anatomie corporelle s'enracine dans les qualités matérielles de l'objet. Ensuite, les mouvements dansés émergent comme une variation et comme une extension des gestes exploratoires (caresser, serrer, enrouler, effleurer, soupeser, etc.) : bien que les objets ne soient pas présents en termes actuels, ils persistent sous forme virtuelle en résonant dans la corporéité dansante. Dans quelle mesure la médiation technologique et l'interaction sonore informent un tel processus de virtualisation? Les observations des étudiantes diffèrent sensiblement sur cet aspect. Une partie des étudiantes a souligné la difficulté d'intégration des informations somato-sensorielles avec les retours acoustiques. Elles remarquent que la richesse des informations auditives rendait plus complexe la ré-évocation des sensations tactiles. Étant donnée la nature principalement "matérielle" des sons utilisés (craquements, crépitements), l'interaction acoustique semble induire en effet non seulement des images sonores mais également des sensations somato-sensorielles « le son qu'émerge pendant cette phase produit en moi une image différente de celle-ci que j'avais sans capteurs. Cette qualité sonore affecte mes mouvements mais parfois elle me déconnecte de la qualité de l'objet que j'avais trouvé auparavant. » (Angelika). Deux "images tactiles"[590] sont ainsi évoquées pendant l'interaction. Une première image est composée par la mémorisation des sensations tactiles issues de l'expérience haptique avec l'objet. Une deuxième image est évoquée par les qualités tactiles de la matière sonore. La difficulté d'intégration multimodale dérive alors probablement d'une incohérence interne au système somato-sensoriel. Bien évidemment il s'agit d'une hypothèse. Le design sonore utilisé se base sur des sonorités électroacoustiques évoquant des textures matérielles. En cela la sensation auditive éveille une sensation tactile, un « simulacre » ou un « reflet virtuel » qui transfigure la sensation primaire. En d'autres termes, la sensation sonore détermine l'émergence d'un chiasme

[590] J'emploie ici le terme "image" dans un sens non figuratif. Il serait intéressant d'évaluer si ces images tactiles correspondent aux images détectées par le biais des techniques de *neuroimaging* fonctionnel. En ce sens il faudrait vérifier si les sensations tactiles produites par l'objet et les sensations tactiles évoquées par les *feedbacks* acoustiques activent un métabolisme similaire dans les aires somato-sensorielles du cerveau. Certaines découvertes ont été faites à ce propos dans les dix dernières années. Voir par exemple, Marcus J. NAUMER et al., "Multisensory Functional Magnetic Resonance Imaging" in Marcus J. NAUMER et al. (dir.), *op. cit.*, p. 83-92.

intersensoriel. Nous pouvons alors supposer que les simulacres tactiles évoqués par le son sont en conflit avec la mémoire somatique des sensations tactiles dérivant de l'objet. Dans ce cas la typologie de l'objet a une certaine importance. L'analyse des vidéos montre que la convergence ou la divergence entre les deux ordres de sensations tactiles est en outre en lien avec l'effort physique. Les étudiantes qui ont souligné l'apport positif des *feedbacks* sonores sont ceux qui, même en raison de la typologie des objets utilisés, ont basé la composition du geste sur un effort musculaire majeur. Je rappelle que la génération sonore est dans ce cas fortement liée à l'activité musculaire. Dans les improvisations de ces étudiantes on remarque une connexion plutôt évidente entre les modulations sonores liées à l'exploration gestuelle et les modulations sonores produites par les mouvements dansés :

> « Le *feedback* sonore permettaient de mettre en évidence la tonicité musculaire utilisée dans chaque mouvement. De plus, le retour sonore me donnais des informations pertinentes sur la contraction mobilisée pour effectuer un certain geste. Cela rendais plus efficace, plus puissant et plus visible, l'interaction imaginaire avec l'objet et il m'aidais à retrouver les gestes de manipulation. Par exemple, lorsque je reproduit les gestes de tirer vers le haut le film bulle j'utilise la contraction des mes muscles. Dans ce cas les sons me répondent de manière cohérente en renforçant la qualité du geste d'étirement. […] En effet, j'ai ressenti que le son m'a beaucoup aidée à retrouver les mouvements d'exploration de l'objet à partir de la prise de conscience du tonus musculaire mobilisé. »[591]

Ici, les sensations tactiles dérivant de l'objet sont intégrées avec les informations acoustiques produites par le mouvement. Des structures sonores similaires se re-présentent de façon claire tantôt dans la manipulation des objets tantôt dans l'improvisation dansée. Bien que la production sonore ne soit pas la tâche fondamentale de l'exercice, la connexion multimodale entre perception haptique et rétroaction acoustique semble faciliter de façon très claire le processus de virtualisation de l'objet (en termes de forme, poids, qualités dynamiques, etc.) au sein de la corporéité. Cela montre pourtant que la convergence entre informations haptiques mémorisées, *feedback* sonores interactifs et proprioception peut induire l'émergence d'une nouvelle anatomie virtuelle dont le danseur prend conscience pour imaginer autrement

[591] Laura, cf. Annexe 1

l'organisation du mouvement[592].

En accord avec les principes de l'intégration multimodale, les *feedbacks* acoustiques renforcent, en termes d'efficacité et de précision, notre capacité d'accomplir une certaine tâche motrice. Dans notre étude de cas, des résultats contradictoires ont émergé. Néanmoins, il convient de noter que là où une cohérence perceptive entre matière sonore et matière tactile est possible, alors les *feedbacks* sonores facilitent clairement le processus de virtualisation et de re-composition du mouvement. Même les cas de divergence entre informations tactiles et auditives confirment que le rapport entre les deux sensations n'est pas neutre. La divergence, tout comme la convergence multimodale, dénote une interaction réciproque. Dans les deux cas, la ré-évocation somatique des informations haptiques est affectée tantôt par les retours acoustiques tantôt par la sensation d'effort tout en démontrant la nature réticulaire de notre système sensoriel.

Un autre remarque peut être fait à propos des processus de virtualisation de l'objet. Du point de vue écologique chaque objet est capable d'évoquer une série d'*affordances*. Comme on la vu, différentes pragmatiques gestuelles émergent en relation à la constitution matérielle de l'objet. La présence des *feedbacks* sonores modifie radicalement la qualité de ces interactions. Par le biais des capteurs, l'exploration haptique est strictement connectée à la manipulation sonore. Par cela l'objet devient capable de solliciter des *affordances* sonores. Ces *affordances* persistent même en l'absence de l'objet puisque les *feedbacks* sonores générés par le geste en évoquent la présence : « Dans la partie avec les capteurs, j'ai eu moins des difficultés à recréer la relation avec l'objet même si l'objet il était plus dans mes mains. […] J'arrivais à mieux connecter les sons aux gestes effectués pendant l'exploration de l'objet. En effet le son permettaient de "rendre visible" la présence de l'objet. » (Melyssa). Du point de vue l'organisation perceptive, l'objet est donc présent bien que sous forme virtuelle. On peut affirmer, à ce propos, que l'objet produit des *affordances* par

---

[592] Une telle expérience recoupe d'ailleurs la réflexion de Hubert Godard sur la relation entre *feedback* augmenté et proprioception en danse : « Avec des capteurs sur le corps […] les informations proprioceptives concernants le mouvement peuvent être transformées en signaux sonores ou visuels. Grâce à cet autre mode de percevoir, qui me permet d'avoir une image de mon corps diverse […], une multiplicité de potentialités gestuelles émergent […]. Par le biais de ces systèmes nous pouvons ressentir des sollicitations que, jusqu'à ce moment là, n'étaient perçues puisqu'elles n'avaient pas un seuil d'excitation adaptée pour arriver à la surface de la conscience. » Armando MENICACCI et Emanuele QUINZ, "Conversazione con Hubert Godard", *op. cit.*, p. 374-375. Nous traduisons.

le biais du son même si il n'est plus présent dans les mains des étudiantes : « j'imaginais avoir encore le sac dans mes mains » (Bérangère). Des fragments de ces *affordances* sont toujours visibles dans les mouvements dansés reproduisant les modulations sonores écoutées précédemment. En ce sens la notion d'*affordance* semble n'impliquer pas seulement une "possibilité d'action" mais plus généralement une structure kinesthésique dynamique, une anatomie virtuelle impliquant l'entier apparat sensori-moteur.

7.3 Étude de cas n.2 : écouter/toucher

La deuxième étude de cas poursuit l'analyse de la relation entre intégration multimodale, organisation perceptive et geste abordé dans le premier exercice. Dans ce cas l'expérience proposée a été conçue en vue d'un travail sur l'écoute. Le terme "écoute" est utilisé ici de façon multimodale : il inclut bien sûr l'écoute d'un point de vue auditif, mais aussi et surtout un autre type d'écoute, très utilisé en danse, qui est l'écoute de l'autre[593]. Ce genre d'écoute est en soi une écoute multimodale puisqu'elle implique la prise de conscience somatique de la présence de l'autre en termes de chaleur, présence visuelle, odeur, respiration, etc. Par conséquent, il s'agit d'une écoute stratifiée et intersensorielle impliquant différents niveaux de réciprocité : écoute par le regard, écoute haptique par le biais du contact direct, écoute fictive ou virtuelle basée sur la perception de l'autre dans l'espace[594]. Dans ce cadre, l'interactivité sonore a été conçue afin de renforcer un tel processus d'écoute réciproque. Du point de vue du dispositif pédagogique nous avons retravaillé l'exercice en couple testé pendant le cours de l'année précédente et que j'ai décrit dans le sixième chapitre. La structure de l'exercice a été modifiée et adaptée selon la méthode expérimentée dans le travail avec les objets. Comme dans l'exercice avec les objets, nous avons proposé aux étudiantes de traverser l'expérience, dans un premier moment sans capteurs et successivement avec capteurs, pour en saisir les différences.

Tout comme dans l'exercice en couple discuté dans le sixième chapitre, nous avons utilisé les deux capteurs-bagues. Cependant, une différence remarquable en termes d'interaction a été introduite. Ici les

---

[593] Cf. Isabelle GINOT, "Écouter le toucher" in *Chimères*, 78(3), 2012, p. 87-100.

[594] Cf. Michel Bernard, *op. cit.*, p. 186.

capteurs ne sont pas endossés par la personne qui est devant mais par la personne qui est derrière, c'est-à-dire la personne qui "conduit". Dans l'autre exercice la personne derrière était obligée de mouvoir les mains de son partenaire afin de produire du son. Dans ce cas, la personne derrière, en endossant les capteurs, peut guider son partenaire à travers la seule trace sonore émise par ses mouvements sans pourtant toucher l'autre personne. Nous avons fait ce choix méthodologique dans le but d'évaluer dans quelle mesure le profil dynamique et spectral du son peut stimuler des mouvements spécifiques.

7.3.1 Configuration technique et design sonore

Du point de vue de la configuration technique, chaque capteur permet de jouer d'un instrument virtuel par le biais du geste. Le mapping se base sur l'utilisation des trois axes de rotation. Cela permet d'avoir un contrôle plus articulé en termes de variations sonores et gestuelles. Une importance particulière a été donnée au design sonore. Deux objets sonores ont été composés. L'interaction entre les deux génère un contrepoint harmonique assez éthéré et méditatif. Du point de vue pédagogique, le but du design sonore est en effet de créer une ambiance sonore contemplative en induisant ainsi l'écoute de soi et de l'autre. Le son A, contrôlé par la main droite, est un bourdon harmonique qui a été créé par synthèse additive. La fondamentale est un FA2. Le son B, contrôlé par la main gauche, a été composé en traitant un enregistrement de craquement de feuilles avec un résonateur. Ainsi le bruit acquiert un profil harmonique et une hauteur déterminée. La fréquence fondamentale du résonateur est un FA3. Les partiels composant le spectre sont la tierce mineure, la dominante, la sixte mineure et l'octave. Les deux sons ont été composés dans le but de les rendre aisément reconnaissables en termes de profil harmonique, de micro-articulation interne et de fonction musicale. Le son A et Le son B se situent à une octave de distance (le premier son est le plus grave). Du point de vue *spectromorphologique*[595] le son A est un son tenu présentant un profil linéaire et itératif caractérisé par une micro-mélodie interne; le son B, en gardant le profil irrégulier du bruit de craquement originaire, se présente comme une sonorité métallique avec un profil granulaire et périodique assez accentué sur les fréquences aiguës. En raison de cette configuration, le son A prend la fonction d'accompagnement tandis que le son B celle de voix mélodique.

[595] La terminologie utilisé reprend la taxonomie proposée par Dennis SMALLEY, *op. cit.*

Comme dans l'exercice sur la manipulation des objets, j'ai utilisé une stratégie bidirectionnelle impliquant une combinaison entre mapping divergent et convergent. Le mouvement sur l'axe vertical permet de modifier la couleur du son à travers la modulation de la fréquence de deux différentes filtres (filtre passe-bas pour le son A, pass-bande pour le son B). Cette interaction exploite une forme d'analogie assez intuitive : le bas est associé aux fréquences graves tandis que le haut est associé aux fréquences aiguës. Les autres effets utilisés ont été créés en modifiant ou en réalisant *ex novo* des patches de traitement sonore en MaxMsp. Les algorithmes de traitement sonore ont été ensuite convertis en patches Max4Live et intégré comme *plug-in*[596] externes dans Ableton. En ce qui concerne le son A, la rotation longitudinale de la main contrôle le nombre et la dynamique des partiels d'un filtre spectral[597], la rotation sagittale modifie la quantité de saturation harmonique du son[598]. Dans le son B la rotation longitudinale contrôle la résonance du filtre passe-bande (dont la fréquence est contrôlée par les mouvements verticaux de la main) et le *feedback* d'un effet *flanger*; au maximum de rotation cette modulation génère des effets de glissando typiques. La rotation sagittale module la fréquence et le *feedback* d'un effet *phaser* en produisant des variations de timbre caractéristiques. Une telle configuration de l'interface s'est avérée être un très bon compromis entre transparence de l'interaction et richesse musicale. Les différentes rotations de la main sont en effet aisément reconnaissables en termes de différentiations auditifs. En même temps elles permettent des variations harmoniques assez nuancées et graduelles. De plus, la vision écologique régissant la conception du design sonore et de l'interaction (mapping bidirectionnel, analogies perceptives, etc.) permet de s'immerger dans l'interaction sans avoir besoin de s'interroger sur le fonctionnement du dispositif.

---

[596] En informatique, le *plug-in* est un programme externe qui interagit avec un autre programme principal pour étendre les fonctionnalités d'origine de ce dernier. Un *plug-in* permet donc l'utilisation de nouvelles fonctionnalités non incluses dans le logiciel principal.

[597] J'ai réalisé un filtre paramétrique exploitant le principe de la FFT. Cela permet tout simplement de ré-moduler la fréquence dominante du son à partir d'un certain nombre de fréquences extraites du son original.

[598] Cet effet a été réalisé avec un effet de *delay*. En utilisant des retards assez réduits et assez proches entre eux sur les deux pistes stéréos (ex. 10 ms à droite et 15ms à gauche) il est possible d'obtenir une sorte de distorsion harmonique qui rappelle l'effet chorus.

7.3.2 Description de l'expérience

Dans cet exercice, les étudiantes travaillent en binômes. La structure de la session est similaire à celle présentée dans l'autre étude de cas : deux heures et demi sont consacrées à l'expérimentation et une demi heure est consacrée aux retours sur l'expérience. Huit étudiantes ont participé à l'expérience en formant ainsi quatre couples. Même ici une structure tripartie a été utilisée de manière à évaluer l'apport des *feedbacks* sonores pendant l'expérience. Chaque partie a une durée d'une dizaine de minutes. À la fin du temps établi nous demandons aux étudiantes de trouver spontanément une conclusion. L'exercice a été ainsi divisé :

1. Expérience de l'écoute réciproque avec et sans le contact physique
2. Expérience de l'écoute réciproque avec les capteurs et le contact physique
3. Expérience de l'écoute réciproque avec les capteurs sans le contact physique

Cette structure permet d'observer comment les sensations auditives modifient l'écoute réciproque surtout en absence de contact physique. Les indications verbales fournies au cours de l'exercice ont ici une importance remarquable (notamment dans la première partie qui a pour fonction d'inciter les étudiantes à un certain type d'écoute réciproque). En particulier, les différentes consignes doivent guider les étudiantes dans l'écoute de l'autre en leur permettant d'entrer en résonance avec le partenaire. Ces consignes sont données au fur et à mesure que l'exercice se développe tout en induisant un processus de prise de conscience graduelle. La première partie de l'exercice s'articule autour de l'exploration sensorielle de la présence de l'autre. Dans un premier moment, quatre étudiantes sont invitées à se positionner dans l'espace, debout, avec les yeux fermés. Ensuite nous les invitons à porter leur attention perceptive sur leur verticalité (c'est-à-dire sur la relation entre leur posture et l'axe formé par la colonne vertébrale), sur le volume occupé par leur corps et sur l'inscription de ce volume dans l'espace environnant. Dans un deuxième moment, les autres étudiantes sont invitées à rejoindre leurs partenaires. Ensuite elles sont invitées à trouver un contact direct avec elles au niveau du buste, des anches et de la tête, en se positionnant debout,

juste derrière elles, le contact se faisant donc entre le dos de la première étudiante et la poitrine de la deuxième. À ce moment, nous dirigeons l'attention du couple sur l'écoute de la respiration de l'autre et sur la synchronisation de leurs respirations. Ensuite, nous les invitons à créer « un espace commun », « un territoire corporel partagé ». Cette consigne implique l'incorporation de la présence de l'autre. Un niveau de virtualisation du corps est donc ici déjà en œuvre. Les éléments qui émergent dans la première phase d'écoute (respiration, sensations tactiles, perception de la posture et de l'effort gravitaire) sont la base sensorielle sur laquelle une première valorisation imaginative et émotionnelle se déroule.

Fig. 13 : Première partie de l'exercice

Insistant sur la consigne de rester à l'écoute de l'autre, nous demandons à l'étudiante placée derrière de proposer des petits mouvements des bras, mais aussi du buste et des anches, entraînant le mouvement de l'autre. Grâce au contact de l'épiderme, une écoute sensible s'instaure entre elles, donnant lieu à un mouvement partagé. Ensuite, nous demandons à l'étudiante situé derrière de faire un petit pas en arrière de façon à quitter le contact avec son binôme. Dans cette nouvelle situation, nous demandons à nouveau à l'étudiante derrière de proposer des petits mouvements des bras, des mains et du buste. Le repère tactile n'étant plus présent, il s'agit de voir quel type d'écoute cette nouvelle situation demandait à l'étudiante

située devant, avec les yeux fermés[599]. Quelles nouvelles stratégies doit-elle mobiliser pour capter le mouvement du binôme (vu qu'il n'y a plus de contact direct)? Quel type d'attention, et de concentration est maintenant à l'œuvre? Dans cette phase nous observons des stratégies différentes. La plupart des binômes (trois sur quatre) n'arrivent pas à se détacher complètement du partenaire en gardant au moins le contact entre des pieds. La personne devant, en particulier, semble avoir plutôt tendance à se rapprocher à l'autre. Au niveau des mouvements de bras nous observons deux stratégies. Deux étudiantes, parmi celles qui étaient derrière, utilisaient des mouvements plutôt amples. Dans ce cas leur partenaires avaient plus de difficulté à les suivre. Les deux autres ont choisi de proposer des mouvements plus graduels permettant à leurs partenaires de rester en résonance avec la présence de l'autre. À ce propos, les étudiantes faisant partie de ces binômes ont marqué dans leurs carnets qu'elles arrivaient aisément à suivre les mouvements de leurs partenaires grâce à la sensation de chaleur émanant du corps de l'autre : « Nous avons repris le même exercice sans contact. Toutefois Il y avait une bonne entente et cohésion entre nous […] il y avait une chaleur qui circulait entre nous et qui nous permettait de rester "connectées" » (Clémentine). D'autres étudiantes ont noté que cette consigne leur a posé problème : « Pour ma part et mon ressenti, plus ma partenaire s'éloignais plus je remarquais une difficulté au niveau de l'écoute de l'autre. Un ressenti d'abandon a été ressenti. » (Melyssa). Dans ce cas les étudiantes doivent se concentrer, en effet, sur des éléments subtils (comme la respiration ou la chaleur) n'ayant plus les repères habituels grâce auxquels on perçoit normalement la présence de l'autre : « Il n'y a plus aucun contact entre nous et il vas donc falloir trouver des alternatives au toucher pour rester en lien. Pour ma part, je me suis servi du bruit de la respiration de ma partenaire ou encore de la sensation de son chaleur. » (Mathilde).

Après cette première exploration, nous avons fait retraverser le même dispositif à chaque binôme, et cette fois-ci avec l'aide des capteurs. La deuxième partie de l'exercice présente des caractères tout à fait similaires à l'exercice en binôme dont nous avons parlé dans la chapitre précédent. Certains éléments nouveaux ont toutefois émergé. Tout d'abord on remarque que la qualité du design sonore induit une exploration plus pointue et nuancée des différentes modalités d'interaction. On observe, en effet, une

[599] Cf. vidéo "Étude de cas 2 (Première Partie)" vimeo.com/240155118 (mot de passe : pensée sonore)

tendance générale à accomplir des mouvements plus graduels que dans la première partie sans les capteurs. Cela s'explique par le fait que les *feedbacks* sonores ajoutent un élément sensoriel au processus d'écoute de l'autre et demandent ainsi un temps d'adaptation graduelle. Un autre élément d'intérêt émerge à propos de la boucle perception/action. Certaines étudiantes, parmi ceux qu'étaient devant, ont remarqué dans leurs carnets avoir eu l'impression de « contrôler le son » (Mathilde) ou de « jouer la musique »[600] (Marine) même si en réalité c'est leur partenaire qui en endossant les capteurs produisait le son. Cette "illusion" est d'ailleurs assez intéressante puisqu'elle nous indique que la cohérence perceptive entre les mouvements et les modulations sonores alimente la sensation d'immersion et de *flow*. Cette sensation disparaît lorsque, dans la troisième partie de l'exercice, nous demandons aux étudiantes de s'éloigner. N'ayant plus une continuité sensori-motrice entre leurs mouvements et le son, le contrôle sur l'interaction est attribué au partenaire.

Fig. 14 : Deuxième et Troisième partie de l'exercice, avec et sans contact.

Dans la troisième partie les étudiantes poursuivent l'expérience sonore en gardant une petite distance entre elles. Même dans ce cas toutes les étudiantes ont tendance, contrairement aux consignes données, à chercher le contact physique avec l'autre. Pour cela, l'expérience ne peut pas se considérer comme parfaitement réussie. Néanmoins, les réactions physiques au son de la personne de devant montrent des

[600] Marine : « J'avais plutôt l'impression de jouer la musique avec Clémentine. Les sons étaient comme une manifestation audible de notre connexion réciproque qui se faisait par le contact des corps. » Cf. Annexe 1

éléments intéressants[601]. L'analyse des vidéos nous a permit de mettre en lumière trois classes de mouvements en réponse à la musique : A. Réponses conscientes et volontaires; B. Réponses spontanées et non-conscientes; C. Réponses non-conscientes et involontaires. A. Dans le premier groupe nous retrouvons les mouvements les plus communs de l'exercice. Il s'agit des mouvements qui poursuivent le profil sonore généré par le geste du partenaire. On peut définir ces mouvements des gestes d'accompagnement. Selon la classification proposée lors du cinquième chapitre, les gestes d'accompagnement sont des gestes volontaires ayant pour but la description ou l'interprétation du son par le biais du corps. Dans cette catégorie rentrent les mouvements dansés sur la musique. Même si les mouvements des étudiantes ne sont pas des mouvements dansés ils sont néanmoins une forme de réaction directe et volontaire au son. De plus, les mouvements proposés montrent un caractère fortement mimétique en relation aux modulations dynamiques et de fréquence. B. Le deuxième groupe de réactions physiques est probablement le plus intéressant. On remarque deux mouvements en particulier. Lorsque l'étudiante de derrière génère une modulation du grave vers l'aigu on constate une tendance générale des étudiantes de devant à s'allonger dans l'espace. Cette réponse à la modulation sonore implique d'abord la main, ensuite le bras et enfin le mouvement de la cage thoracique (dans certains cas il implique aussi un léger mouvement du bassin). De plus, on remarque clairement que la tension musculaire augmente au fur et à mesure que le son devient plus aigu. Une étudiante en particulier (Léa) a proposé des mouvements des doigts assez intéressants. Lorsque le son B émerge (le son présentant un caractère granulaire et métallique) cette étudiante utilise les doigts pour créer des micro-mouvements ondulatoires. Ces derniers mouvements rentrent également dans la catégorie des gestes d'accompagnement même s'il s'agit de mouvements spontanés et non complètement volontaires. En effet, durant l'analyse des vidéos avec les étudiantes, ces dernières ont admis de n'être pas conscientes de ces mouvements et d'être surprises de les découvrir grâce à la captation vidéo. Le troisième groupe concerne enfin une série des mouvements totalement involontaires comme les petites vibrations en réactions à certaines modulations sonores. Parmi ceux-ci on remarque en particulier des mouvements des jambes. Ces micro-mouvements semblent émerger en réponse aux variations du son plus soudaines et tout particulièrement aux sons aigus. Une étude plus approfondie, supportée par exemple par une analyse électromyographique des muscles impliqués, pourrait à mon avis mettre en évidence la

[601] Cf. vidéo "Étude de cas 2 (Deuxième/Troisième Partie)" vimeo.com/240150814 (mot de passe : pensée sonore)

correspondance étroite entre ces micro-réactions physiques et la qualité dynamique et spectrale du son[602].

7.3.3 Considérations sur l'expérience

L'expérience proposée a mis en évidence la difficulté des étudiantes à accomplir certaines tâches basilaires de l'exercice. On a remarqué en effet que la plupart des étudiantes n'est pas arrivée à se détacher complètement du binôme nonobstant les consignes données. On observe à ce propos qu'après avoir pris de la distance avec l'autre, l'étudiante derrière à tendance à chercher le contact par les pieds ou par les mains. Dans la discussion à la fin de l'expérience, les étudiantes ont remarqué que la consigne d'écouter l'autre leurs amenais à chercher le contact physique même de manière involontaire : « Pour ma part et mon ressenti, plus ma partenaire s'éloignais plus je remarquais une difficulté au niveau de l'écoute de l'autre. Un ressenti d'abandon a été perçu. J'ai d'ailleurs ressenti le besoin de contact pour agir » (Marine). Cela peut s'expliquer par la difficulté de baser l'écoute de l'autre seulement sur des éléments comme la respiration ou la chaleur qui demandent un très haut degré de concentration. Je crois pourtant qu'un travail préliminaire sur l'écoute et sur la perception de l'autre pourrait donc aider la bonne réussite de l'exercice.

En ce qui concerne l'apport des *feedbacks* sonores, les retours des étudiantes sont assez différents entre eux. Dans leurs carnets de bord, certains étudiantes ont remarqué que l'interaction sonore n'a pas apporté une amélioration dans l'écoute de l'autre. Au contraire elles ont souligné que le son rendait la connexion réciproque plus faible : « Nous avons refait l'exercice entier avec les capteurs aux doigts, mais il n'ont rien changé à nos sensations, ils les ont plus atténuées. Il y avait légèrement moins de connexion entre nous » (Clémentine). D'autres ont noté que l'interaction sonore sollicite une expérience plus *immersive* mais que cela induit l'écoute de soi plutôt que de l'autre (Mathilde). Une étudiante en particulier (qui dans l'exercice se positionnait devant) a remarqué comment cette sensation d'immersion a été d'ailleurs assez utile pour suivre le son à travers avec le corps : « En écoutant, la notion du temps m'a complètement échappée. J'avais l'impression que le temps d'écoute était beaucoup plus long. […] Le fait d'être

[602] Les études conduites récemment par Alexander Jensenius à l'Université de Oslo vont dans cette direction : Alexander R. JENSENIUS, "Sonic Microinteraction in the Air" in Micheline LESAFFRE, Pieter-Jan MAES et Marc LEMAN, *op. cit.*, p. 431-439.

complètement immergée dans les sensations sonores m'a permis de percevoir comme un état second. L'écoute de la musique aidait à guider mon corps et ma perception comme si j'étais "suspendue" dans le son » (Melyssa). On remarque dans ce cas comment le son induit l'émergence d'une modalité inédite de percevoir sa propre présence et comme cela sollicite une nouvelle organisation perceptive du mouvement entièrement basée sur les informations auditives. Deux autre binômes ont noté que l'interaction sonore leur a permis de renforcer l'écoute réciproque et la connexion avec leurs partenaires. Une étudiante en particulier a remarqué dans son carnet que dans la première partie de l'exercice elle a eu énormément de difficulté à se synchroniser avec sa partenaire à cause de la différence de leur rythme respiratoire (le sien assez rapide, celui de l'autre assez lent). Par contre l'interaction sonore lui a permit de trouver une connexion avec l'autre tout en renforçant l'écoute réciproque ainsi que la synchronisation des mouvements :

> « Dans la partie avec la musique/son c'était plus facile pour moi de me coordonner avec mon partenaire. J'étais plus à l'aise qu'auparavant car je ne faisais plus attention à la respiration car j'étais concentrée sur la production du son. […] L'interaction avec la musique nous a permit de renforcer notre connexion et notre écoute réciproque. Pendant cette partie nous sommes finalement arrivées à bouger ensemble. »[603]

Les étudiantes d'un autre binôme ont également souligné dans leurs carnets que la médiation sonore leur a permit d'expérimenter un sens de partage au niveau des sensations en leur aidant à créer une territorialité commune :

> « Nous avons effectué la partie de l'exercice sans contact une seconde fois, mais cette fois-ci en étant accompagnées par le son. […] Au fur et à mesure que ma partenaire s'éloignait je prenais de plus en plus mes repères sur les sons provoqués par les mouvements. Dans cette seconde expérience avec les capteurs j'ai pu percevoir une relation plus fluide au niveau du contact avec l'autre. Dans ce cas j'avais l'impression d'une sorte "d'osmose" entre moi et ma partenaire »[604]

---

[603] Laura, Cf. Annexe 1

[604] Melyssa, Cf. Annexe 1

Une dernière considération concerne le rapport mimétique entre mouvement et son. Cela concerne principalement les mouvements des étudiantes qui dans le binôme étaient devant et qui donc avaient la consigne de suivre les sons émis par les gestes de leur partenaire. Les retours individuels des étudiantes n'ont pas ajouté d'éléments dignes d'intérêt à ce propos. Des remarques peuvent toutefois être faites en se basant sur l'observation des vidéos. Comme je le remarquais plus haut, les mouvements principaux de réaction au son sont des gestes d'accompagnement. Les gestes observés semblent poursuivre aisément le profil dynamique et timbrique des sons. Les deux paramètres étant fortement connectés au niveau du mapping ont en effet un profil similaire[605]. Ne présentant pas une variation de hauteur remarquable, la caractéristique principale en termes de fréquence est représentée par la modulation du spectre. Du point de vue phénoménologique la caractéristique la plus importante des modulations proposées est la variation de brillance du son [*brightness*], liée principalement au contrôle de la fréquence du filtre. Ces modulations graduelles sont représentés par la personne qui écoute avec des gestes verticaux. La symétrie grave/bas et aigu/haut est ici respectée à travers des gestes ascendants ou descendants. L'énergie sonore vas disparaître dès que la modulation du son rejoints les zones graves. Cette correspondance ultérieure entre variation de luminosité et d'énergie sonore renforce du point de vue multimodale le sens de "chute" vers le bas et donc la cohérence des gestes descendants[606]. On remarque d'ailleurs que les mouvements vers le bas (et vers le grave) ont tendances à être plus relâchés tandis que les mouvements vers le haut (et le aigu) ont tendance à être plus tendus. Ces correspondances ne démontrent pas seulement la connexion du son et du mouvement en termes d'équivalences morphologiques[607]. Les gestes d'accompagnement des étudiantes ne reproduisent pas simplement le profil sonore, ils évoquent également les mouvements de production sonore exécutés par leurs partenaires. Du point du vue de la cognition incarnée, cette expérience souligne

---

[605] Étant les filtres liés au mouvement vertical, au-dessous d'un certain degré de rotation, c'est-à-dire quand les mains sont presque parallèles au corps, le son rejoint le 100 Hz et a donc tendance à disparaitre. Grâce à un filtre passe-bas ultérieur appliqué à la fin de la chaînes des effets, au-dessous de ce seuil nous n'entendons plus de son.

[606] Cette observation est d'ailleurs en accord avec les analyses quantitatives sur le rapport forme sonore/forme du mouvement proposé par Kristian NYMOEN et al., *op. cit.*

[607] Cf. Rolf I. GODØY, Egil HAGA, Alexander R. JENSENIUS, *op. cit.*

alors comme le geste producteur est d'abord codé dans le son (selon les caractéristiques détectées par les capteurs et puis sonorisées), ensuite décodé par l'écoute et enfin ré-actualisé par le geste d'accompagnement. En cela on peut remarquer une sorte de persistance du pattern virtuel du son qui transmigre d'une anatomie corporelle à l'autre. La virtualisation numérique opérée par les capteurs qui fait que le geste devient un pattern sonore se reflète ainsi dans la virtualisation perceptive opérée par l'étudiante qui incorpore ce modèle sonore pour le reconfigurer sous forme de mouvement.

7.4 Conclusions

Les processus de sonorisation permettent d'expérimenter des modalités perceptives inédites. Tout d'abord ils permettent de rendre audibles des aspects du mouvement, qui ne seraient pas autrement perceptibles comme on l'a vu dans le cas de la sonorisation de l'activité électrique des muscles. D'ailleurs la médiation sonore nous permet de percevoir l'activité de mouvements apparement habituels à travers une modalité sensorielle différente. Ainsi il est possible de doter la corporéité d'une présence sonore. Un tel processus d'extension et d'intensification sensorielle peut se révéler un moyen important d'analyse au sein du contexte pédagogique. En connectant des *feedbacks* sonores au geste, les étudiantes deviennent conscientes des gradations et des nuances qui composent le mouvement. La fonction positive du *feedback* sonore s'avère être déterminante sous deux aspects. D'une part, le système auditif est capable de reconnaitre les variations temporelles d'une manière plus fine par rapport à d'autres canaux perceptifs en sollicitant ainsi un prise de conscience majeure des nuances à la base de la composition du geste. D'autre part, en accord avec les principes d'intégration multimodale, la cohérence perceptive entre son et mouvement renforce la capacité d'accomplir une tâche motrice et gestuelle en se révélant donc un outil important dans le cadre de la pédagogie du mouvement. Les expériences présentées dans ce chapitre, montrent comment l'interaction sonore peut être conçue tantôt comme outil pédagogique capable d'induire une prise de conscience du corps tantôt comme moyen pour l'étude du mouvement et de la perception. Les expériences réalisées ont produit en général des résultats positifs. Les étudiantes ont eu la possibilité de découvrir certaines des possibilités offertes par l'interaction avec la technologie et d'expérimenter un rapport inédit avec la musique et le son. La médiation sonore en particulier s'est avérée être très efficace afin de

stimuler une dimension d'écoute. Cette nouvelle sensibilité permet d'approfondir la nature stratifiée du geste et de sa perception. De plus, la nature écologique des expériences proposées leur a permis d'acquérir une connaissance somatique différente tout en sollicitant une mise en discussion des postures et schémas corporels habituels. D'ailleurs, des méthodologies plus approfondies permettrons d'améliorer, lors de travaux futurs, l'efficacité pédagogique des dispositifs présentés. Tout d'abord, des expériences pratiques préalables sur l'écoute et, plus en général sur la sensibilité perceptive, s'avèrent être nécessaire afin de préparer les étudiants au travail avec la médiation technologique et les *feedbacks* sonores. De plus, l'utilisation d'autres méthodes d'enquête qualitative comme les entretiens d'explicitation peuvent permettre aux étudiants d'acquérir une conscience majeure de leur ressenti par rapport aux expériences proposées[608].

Du point de vue méthodologique, des travaux futurs devront en outre prendre en considération des outils comparatifs adaptés au contexte. J'ai déjà fait référence aux entretiens d'explicitation. D'autres méthodes peuvent être des grilles d'évaluation structurées ou semi-structurées permettant d'orienter le cadre de réponses des participants à l'expérience. Ces outils permettront d'une part aux étudiants d'arriver à éclairer leur vécu et leur réflexions, et d'autre part de pouvoir évaluer les ressentis individuels d'un point de vue plus comparatif. Des méthodes quantitatives pourront d'ailleurs être prises en considération. Parmi ceux-ci, l'analyse et l'interprétation des données issues de l'activité musculaire, en référence surtout aux micro-mouvements, peut être un élément intéressant pour évaluer les effets du *feedback* sonore sur la réorganisation tonique du mouvement (en termes surtout de contraction des muscles et de distribution du poids). L'intégration entre ces outils bio-physiologiques et des modèles d'analyse basés sur les systèmes traditionnels de captation du mouvement pourront certainement enrichir la base de données de l'expérience en permettant ainsi d'approfondir les liens entre composition du geste, interaction sonore et ressenti subjectif.

---

[608] Cf. Armelle BALAS-CHANEL, "L'Entretien d'explicitation. Accompagner l'apprenant vers la métacognition explicite" in *Recherches & éducations*, 2002.

Chapitre 8

Pour une dramaturgie du geste sonore interactif.

Réflexions sur la médiation technologique dans le cadre de la conception et de la création scénique.

8.1 Introduction

Après avoir analysé l'application de technologies interactives dans le cadre pédagogique, je vais maintenant présenter leur utilisation dans le contexte du spectacle vivant. Le chapitre sera consacré à l'étude des processus de création selon deux point de vue principaux : l'expérimentation du *performeur* avec la technologie et le lien entre conception technologique, dramaturgie et composition musicale. Les différentes expériences présentées sont le résultat d'un travail de recherche conduit au sein de la compagnie Kokoschka Revival[609], collectif artistique que j'ai fondé à Milan en 2013 avec Ana Shametaj (metteuse en scène et réalisatrice). Dans la première partie je présenterai une série d'expérimentations, réalisées entre janvier et juin 2015, qui ont amené à la création d'un solo de danse avec interactions audiovisuelles intitulé *You! In and Out the Rendering*. Danse cette partie je décrirai tout particulièrement les stratégies de création audiovisuelle ainsi que la phase d'expérimentation avec les technologies interactives. Ensuite je présenterai l'évolution de cette performance dans une pièce théâtrale plus complexe qui a été développée au cours deux résidences artistiques (juin et décembre 2016) et dont la création est prévue en février 2018. Cette partie nous permettra d'analyser le rapport entre développement technologique, design sonore, dramaturgie et mise en scène. La description et l'analyse des processus de création nous permettra d'ailleurs d'encadrer le rapport entre médiation technologique, mouvement et interaction sonore selon une perspective issue de l'expérience pratique.

8.2 Contextes de création et orientation de la première phase d'expérimentation

La première phase de développement des systèmes interactifs et de création audiovisuelle a été réalisée entre janvier et juin 2015 grâce au support technique du laboratoire de *Physical Computing* de l'École Polytechnique de Milan auquel j'ai été rattaché en tant que *visiting PhD*. Le "Phy.co Lab" est un laboratoire, dirigé par Maximiliano Romero, spécialisé dans la conception et le développement de projets de design interactif, regroupant dans ses structures de nombreux chercheurs et professionnels internationaux provenants du domaine du design et de la bio-mécanique[610]. Ici j'ai eu la possibilité de me questionner sur

[609] http://www.kokoschkarevival.com/en Consulté le 10/09/2017.

[610] Depuis 2017 le laboratoire a cessé ses activités.

le choix des capteurs à utiliser dans mon projet aussi bien que sur la programmation des interfaces interactives et sur l'utilisation des logiciels pour l'interaction audiovisuelle en temps réel.

Dans cette première phase d'expérimentation, j'ai collaboré avec deux membres de la compagnie Kokoschka Revival : Alice Raffaelli (danseuse) et Fabio Brusadin (comédien et VJ[611]). Le travail d'expérimentation et de mise en œuvre du projet performatif ont été développés dans les espaces de MACAO, centre pour la culture, l'art et la recherche fondé à Milan en 2012 comme réponse politique à l'absence de centres indépendants pour l'expérimentation et la diffusion artistique[612]. Pendant trois mois, nous avons pu exploiter les espaces du centre pour les répétitions ainsi que les matériels techniques nécessaires (projecteur, enceintes, mixer audio, câbles, etc.).

8.2.1 Expérimentation sur les analogies morphologiques sonores, visuelles et gestuelles

Comme on l'a vu dans le troisième chapitre, un des caractères principaux du *medium* numérique est la *transmédialité*. Cette notion désigne le fait dans que le contexte numérique nous pouvons créer des rapports d'interdépendance structurale entre différents médias en partant de le mise en connexion entre les diverses morphologies numérisées. Le point de départ de la performance *You! In and Out rendering* a été l'étude des rapport morphologiques entre médias sonores, gestuels et visuels. Cette étude a été conduite de manière essentiellement expérimentale et empirique. Le but était de fixer certaines typologies d'interaction expressives dans le contexte de la performance. La phase de recherche a été ainsi articulée en trois étapes : 1) Création d'algorithmes de génération audiovisuelle; 2) Esquisse d'une typo-morphologie finalisée à la catégorisation de différentes possibilités d'interaction audiovisuelle et gestuelle; 3) Expérimentation avec la *performeuse* et documentation vidéo des phases de création. La première étape a été l'expérimentation entre son et image. Du point de vue de la création artistique il s'agissait de définir des propriétés

---

[611] VJ est un acronyme de *video-jokey*. Le terme s'applique, notamment dans le domaine des musique électroniques *dancefloor*, les artistes réalisant des projections vidéos en temps réel sur la musique. L'interaction son-image est un des aspects caractérisant l'activité du vj.

[612] http://www.macaomilano.org/ Consulté le 10/09/2017.

structurales, telles que l'intensité ou la luminosité, afin de former des analogies qui transcendent les frontières entre les différents canaux sensoriels[613]. À ce propos je me suis inspiré principalement du concept de spectromorphologie développé par Dennis Smalley[614]. La taxinomie proposée par Smalley peut être considérée comme une réélaboration systématique de la phénoménologie de l'objet sonore de Schaeffer. En particulier, je suis parti de l'idée qu'en suivant une « pure description phénoménologique » des objets acoustiques et visuels, il est possible de mettre en évidence les analogies morphologiques qui se cachent au-dessous des différentes qualités sensorielles. Pour cela j'ai essayé d'abord d'appliquer certaines caractéristiques basilaires de l'objet sonore aux objets audiovisuels. L'aspect central de ce travail d'expérimentation a été le synchronisme entres génération sonore et visuelle (et puis gestuelle). Du point de vue perceptif la synchronisation est d'ailleurs le mécanisme basilaire dans les processus de fusion entre image et vidéo[615].

Les logiciels utilisés pour la création des interactions audiovisuelles ont été : 1. *MaxMsp*, pour la création des structures sonores ; 2. *Quartz Composer*, pour la génération graphique ; 3. *OSCulator* pour la création du réseau. En accord avec la notion de « *remote surrogacy* » nous avons décidé de travailler sur des structures sonores et visuelles fortement abstraites. Avec ce concept, Smalley défini une catégorie d'objets sonores non-associables à des sources acoustiques déterminées (comme peuvent l'être les bruits naturels ou les sons instrumentaux). Cette catégorie de sons, n'évoquant pas des images concrètes, oriente l'écoute vers la perception des aspects structuraux de l'objet sonore. Dans la première phase d'expérimentation des structures graphiques géométriques (principalement des groupes de lignes) ainsi que des sons de synthèse ont été utilisés. Tantôt les structures sonores tantôt les structures visuelles sont générées en temps réel avec un même algorithme en MaxMsp. Les interactions entre paramètres sonores et visuels ont été établis empiriquement en partant de certaines "catégories" ou "processus" issus de la classification de Smalley. Les

---

[613] Je n'approfondirai pas le rapport son-image car cela dépasse largement l'objectif de cette thèse. Cependant, pour une introduction détaillée aux pratiques audiovisuelles contemporaines je renvoie à John RICHARDSON, Claudia GORBMAN et Carol VERNALLIS (dir.), *The Oxford Handbook of New Audiovisual Aesthetics*, New York, Oxford University Press, 2013.

[614] Dennis SMALLEY, *op. cit.*

[615] Michel CHION, *L'Audio-Vision*, Nathan-Université, Paris, 1990, p. 55-56.

relations sont donc établies sur une base perceptive plutôt que formelle[616]. Dans cette phase j'ai travaillé principalement sur des paramètres "uni-modaux" (ex. intensité), c'est-à-dire ces paramètres qui peuvent être appliqués aisément dans les deux différents domaines sensoriels. La modalité de mapping son-image est divergente (*one-to-many*) ou convergente selon les cas (*many-to-one*) :

Categorie Spectromorphologique	Paramètre Sonore	Paramètre Visuel
1. Attack-alone	a. Intensité	a. Intensité
2. Attack-decay	a. Intensité; b. Extinction (Decay)	a. Intensité; b. Extinction (Decay)
3. Graduant-Continuant	a. Intensité; b. Extinction (Decay); c. Granularisation et Delay	a. Intensité; b. Extinction (Decay); c. Blur et saturation de l'image
4. Sound/Inharmonic/Noise	a. Fréquences harmoniques; b. Fréquences inharmoniques; c. Vibrato	a. Quantité de lignes; b. Mouvement des lignes; c. Vibrato visuel
5. Contraction/Dilatation	a. Fréquence d'oscillation; b. Intensité de la pulsation; c. Rapidité de la pulsation	a. Fréquence du mouvement global; b. Transformation de la structure; c. Contraction

Un travail de classification analogue a été fait, toujours de manière empirique, dans le cadre de la relation geste-son-image. Dans cette phase d'expérimentation deux dispositifs Wiimote ont été utilisés pour capter le geste. Les Wiimotes permettent de mesurer l'accélération du geste sur les trois axes de rotations (x,y,z) et, de manière indirecte, la rotation sur les mêmes axes. Par conséquent, deux typologies de données ont été extraites : une donnée discrète concernant l'accélération globale (le "choc") et une donnée continue concernant la rotation. La première est employée pour déclencher des événements discrets tandis que la deuxième est utilisée pour moduler des paramètres continus. Même s'il ne s'agit pas de dispositifs énormément fiables en termes de précision et de seuil de bruit, ils se sont néanmoins avérés suffisamment efficaces dans ce contexte. Dans cette phase d'étude la fonction du geste est subordonnée à l'interaction audiovisuelle. Du point de vue musical, la palette des sonorités électroniques a été enrichie en ajoutant des

[616] Cf. également les approches proposées par Anne SÈDES, Benoit COURRIBET et Jean-Baptiste THIEBAUT, "From the Visualization of Sound to Real-Time Sonification: Different Prototypes in the Max/MSP/Jitter Environment" *Proceedings of the 2004 International Computer Music Conference*, San Francisco, International Computer Music Association, 2004, p. 371–374.

structures rythmiques. Du point de vue de la vidéo, un systèmes de génération de particules graphiques a été également expérimenté. La chaîne interactive se développe soit de manière parallèle soit de manière convergente : dans le première cas, les données gestuelles affectent en meme temps le son et la vidéo, dans le deuxième, le geste affecte le son qui à son tour affecte la vidéo. Certaines couches sonores ne sont pas liées au geste. Dans ces cas le son agit directement sur la vidéo. Les rapports interactifs ont été librement inspirés de certaines catégories spectromorphologiques. Ceux-ci ont été ainsi regroupés en trois macro-catégories : relations basées sur la texture (a), relations basées sur la structure (b) et les relations basés sur le geste (c)[617]. Les premières concernent les variations internes des paramètres visuels et sonores. Elles sont contrôlées par les gestes de modulation. Les deuxièmes sont indépendants du geste. Elles dénotent l'apparition des objet graphiques et des objets sonores. Les troisièmes sont contrôles par les gestes d'impulsion affectant la qualité globale de l'environnement audiovisuel[618].

Categorie Spectromorphologique	Mouvement Capté	Paramètre sonore	Paramètre Visuel	Typologie d'interaction
Ascent/Descent	Position sur l'axe vertical du poignet gauche (x1)	Fréquence de filtrage du filtre passe-bande du granularisateur	« Blur » paramètre 1	Texture-based
Dilatation/ Contraction	Position sur l'axe diagonale du poignet gauche (z1)	Résonance du filtre passe-bande du granularisateur	« Blur » paramètre 2	Texture-based
Agglomeration/ Dissipation	Position sur l'axe vertical du poignet droit (x2)	Fréquence des grains du synthétiseur granulaire	Rapidité du mouvement des particules	Texture-based
Divergence/ Convergence	Position sur l'axe diagonale du poignet droit (z2)	Dimension des grains du synthétiseur granulaire	« Alpha » des particules-ombre	Texture-based

[617] Une classification tout à fait similaire est proposée par Gødoy dans le cadre de l'analyse des analogies son-movement : cf. Rolf GØDOY, "Images of Sonic Objects", *op. cit.*, p. 57.

[618] Cf. vidéo "You! In and Out the rendering (Etude#1)" https://vimeo.com/123618583 (mot de passe : pensée sonore)

Categorie Spectromorphologique	Mouvement Capté	Paramètre sonore	Paramètre Visuel	Typologie d'interaction
Agglomeration/ Dissipation 2	Position sur l'axe vertical du poignet droit (x2)	Tempo des structures rythmiques	Gravité du système de particules	Texture-based
Divergence/ Convergence 2	Position sur l'axe diagonale du poignet droit (z2)	-	Point de génération de particules dans l'espace	Texture-based
Attack alone/Gesture carried	Accélération du poignet gauche (xyz1)	Trigger des percussions (groupe A)	Color et position dans l'espace de particules	Gesture-based
Attack alone/Gesture carried 2	Accélération du poignet droit (xyz2)	Trigger des percussions (groupe B)	Color et position dans l'espace de particules	Gesture-based
Gradueted Continuant/Texture carried	-	Intensité structure sonore 1 (Bourdon grave)	Luminosité des particules	Structure-based
Gradueted Continuant/Texture carried 2	-	Intensité structure sonore 2 (Pattern rythmique)	« Alpha » de la structure de lignes	Structure-based

8.2.2 Improviser avec les technologies : protocoles d'expérimentation

Ces études préliminaires m'ont permit de définir les paradigmes d'interaction qui ont été ensuite intégrés dans la performance *You! In and Out Rendering*. Entre mars et juin 2015, le travail de recherche a été consacré à l'expérimentation de la *performeuse* avec les environnements audiovisuels. En ce qui concerne la vidéo, les deux modalités de génération graphique expérimentés ont été gardés : structures géométriques abstraites et systèmes de particules. Du point de vue musical, j'ai utilisé des matériaux issues de la synthèse sonore (additive et subtractive) et de la synthèse par modèles physiques, ainsi que patterns rythmiques inspirés de sonorités techno-minimales. En termes de captation du mouvement la caméra Kinect a été intégrée dans le système interactif. Cela m'a permis d'obtenir des mesures plus fiables en ce qui concerne le mouvement des membres et la position du corps dans l'espace. Quatre groupes de données ont été ainsi définies : a. Valeurs continues issues des données brutes du mouvement des membres supérieurs et inférieurs (coordonnées verticales et longitudinales); b. Valeurs discrètes issues de la position des mains par rapport au centre du corps; c. Valeurs discrètes issues de l'accélération du geste; c. Valeurs discrètes issues de la position du *performeur* sur scène. Ces paramètres sont associés à autant de typologies d'interactions : a. Modulation audiovisuelle basée sur la variation du mouvement des bras et des jambes; b. Déclenchements des notes par rapport à la position des mains; c. Déclenchement d'objets sonores et visuels à partir du dépassement de différentes valeurs de seuil ; c. Activation de diverses automations (changement de module audiovisuel, activation de bande sonores pré-composées). D'autres interactions concernent exclusivement le binôme son-image.

Le système exploite différents logiciels et deux ordinateurs. L'ordinateur 1 s'occupe de l'acquisition et du traitement de données ainsi que de la génération sonore en temps réel. L'ordinateur 2, géré par Fabio Brusadin, s'occupe de la génération graphique. Chaque logiciel est utilisé pour une tâche spécifique à l'intérieur du processus interactif : *NI Delicode* pour l'acquisition des données issues de la Kinect ; *MaxMsp* pour le codage et le design sonore ; *Ableton Live* pour le mixage en temps réel du son et la transmission audio; *OSCulator* pour la conversion en données MIDI et la transmission/réception des informations entre les deux ordinateurs; *Quartz Composer* pour la génération visuelle; *Resolume Arena* pour le mixage de la

vidéo en temps réel; *AU Lab* pour la réception via ethernet des différents bandes sonores.

Fig. 15 : Alice Raffaelli en interaction avec l'environnement audiovisuel

Les sessions d'expérimentation avec Alice Raffaelli, ont été organisées selon deux modalités d'improvisation : a. Improvisations libres; b. Improvisations finalisées à la production d'une interaction spécifique. Toutes les typologies d'interaction (modulation, déclenchement par position des mains, déclenchement par accélération du geste) ont été testées à partir de ces deux modalités d'improvisation. Toutes les répétitions ont été filmées afin de documenter le processus de création[619]. L'analyse de ces matériels nous a permis de prendre conscience de la manière dont le changement de la consigne sur l'improvisation informe la qualité du mouvement. Étant données les caractéristiques spécifiques du système - nature non-invasive des dispositifs, interactions centrées sur les mouvements corporels - l'interactivité est informée par le paradigme du corps-instrument. Grâce à la documentation audio-vidéo j'ai pu observer comment le caractère fonctionnelle de l'interface change sensiblement en relation à la consigne de l'improvisation. Dans le cadre d'une improvisation structurée en fonction du résultat interactif, la performer

[619] Cf. vidéos "You! In and Out the rendering (Backstage)" https://vimeo.com/126781440 et "You! In and Out the rendering (Etude#2)" https://vimeo.com/126516965 (mot de passe : pensée sonore)

dialogue avec l'interface de manière instrumentale. Comme suggéré par Alice, dans ce cas elle avait l'impression de « jouer d'un instrument de musique ». En observant les vidéos, on remarque que chaque mouvement, chaque tension musculaire, chaque déplacement dans l'espace, s'articulent comme gestes de production sonore. De plus, on remarque que le corps n'est pas perçu par le *performeur* comme l'origine du son. À ce propos, lors d'une conversation, Alice précisait que dans ce genre d'improvisation elle avait l'impression que l'interface était « quelque chose d'externe, mais proche au même temps ». On voit donc qu'il y une sorte d'oscillation vers le paradigme du méta-instrument. Dans le cas de l'improvisation libre le fonctionnement du système est mis entre parenthèses. Evidemment, les règles d'interaction ne peuvent pas être complètement ignorées. En observant la vidéo, on remarque en effet comment les conditions de fonctionnement du système informent le mouvement de manière assez inconsciente. On note par exemple que les mouvements des membres supérieurs est largement privilégié même si cela n'est pas une consigne explicite de l'improvisation. Néanmoins on remarque comment la composition du mouvement s'enracine plutôt sur les sensations proprioceptives et sur la fonction expressive du geste. Comme il émerge en effet de la vidéo, les gestes sont ici orientés, de façon assez claire, vers la représentation des qualités sonores. En particulier, les gestes ont tendance à reproduire les aspects "linéaires" de la musique (par exemple les profils harmoniques, mélodiques et dynamiques). Cela est particulièrement évident dans les interactions par modulation où les mouvements verticaux des membres supérieurs contrôlent la couleur et l'intensité du son, tandis que les mouvements longitudinaux sont liés à la reproduction horizontale de la mélodie.

Les sessions d'improvisation ont été ultérieurement approfondies en relation aux stimuli visuels. Quatre typologies d'improvisation ont été ainsi expérimentées : a. Improvisation orientée selon les règles d'organisation musicale ; b. Improvisation orientée selon les règles d'organisation audiovisuelle; c. Improvisation libre avec l'interaction sonore; d. Improvisation libre avec l'interaction audiovisuelle. Un élément conceptuel a été en outre introduit afin d'orienter l'improvisation. J'ai proposé à la *performeuse* de travailler sur les deux premières improvisations en termes de "discipline" corporelle, et dans les deuxièmes en termes de "perte de contrôle"[620]. Pendant ces sessions, j'ai pu remarquer que le *feedback* visuel a

[620] Le binôme discipline/perte de contrôle est d'ailleurs une des thématiques principales de la recherche artistique du collectif Kokoschka Revival.

tendance a prendre une place prépondérante par rapport à la stimulation auditive. Le mouvement, dans ce cas, est totalement orienté vers l'interaction avec l'avatar visuel. Nous avons donc intégré cet élément de dépendance dans la dramaturgie du travail. En partant du matériel émergé pendant les différents sessions d'improvisation nous avons décidé de structurer la performance en trois modules successifs décrivant la progression graduelle d'une situation de contrôle total à une situation de liberté et de perte de contrôle. Du point de vue de l'interprétation nous avons décidé de dramatiser ce dualisme en valorisant le conflit entre discipline, nature coercitive du système interactif et subversion des protocoles d'interactions. Dans la première partie la performer interagit musicalement en montrant un contrôle total de la matière sonore. Dans la deuxième partie, le dialogue se développe principalement avec la vidéo en plaçant la *performeuse* face à l'écran de projection. Dans cette scène le conflit entre contrôle et coercition émerge : le contrôle sur l'interaction s'avère être une forme de contrôle de la part du système sur l'*interacteur*. Dans la troisième partie la *performeuse* subvertit le fonctionnement du dispositif en trouvant un équilibre entre discipline corporelle et perte de contrôle. De ce point de vue, le travail explore la nature instable et potentiellement ambiguë des processus d'incorporation numérique à partir de l'utilisation des systèmes de captation du mouvement. Cette démarche implique l'adhésion et la soumission aux protocoles interactifs des interfaces, y compris l'inhibition du caractère spontané de l'expérience perceptive. À partir de l'évolution de la narration audiovisuelle, la performer interroge la réactivité de l'environnement en oscillant entre acceptation et refus des règles de l'interaction. Autour de cette dualité expressive, les gestes et les actions du performer nous conduisent à découvrir différentes nuances de notre rapport avec la technologie. La performance a été créée le 27 juin 2015 à Milan (Fabbrica del Vapore)[621]. Elle a été ensuite présentée, dans une nouvelle version à Cagliari à l'occasion du Festival de théâtre, art et nouvelles Technologies "Le Meraviglie del Possibile" le 11 décembre 2015.

[621] Cf. vidéo "You! In and Out the rendering @ Fabbrica del Vapore Milan (Italy)" https://vimeo.com/132513293 (mot de passe : pensée sonore)

Fig. 16 : Festival de théâtre, art et nouvelles Technologies "Le Meraviglie del Possibile" le 11 décembre 2015, Spazio OSC, Cagliari

8.3 You! Fight : stratégies créatives au service de la scène

Pendant l'année 2016 la performance a évoluée dans un nouveau travail qui a vu la participation d'autres membres du collectif Kokoschka : Ana Shametaj (mise en scène), Riccardo Calabrò (dramaturgie), Alice Raffaelli et Ondina Quadri (*performeuses*), Fabio Brusadin (vidéo). Dans cette nouvelle phase de travail, l'idée était d'approfondir le potentiel dramaturgique des technologies interactives en en interrogeant la fonction dans notre société. Tout en gardant le caractère multimédia des expérimentations précédentes, nous avons décidé en outre de nous concenter sur l'expressivité non-verbale et tout particulièrement sur le potentiel narratif du son.

Le travail s'est développé en trois phases. La première phase a été consacrée à la recherche et au

développement des systèmes interactifs. Cette phase s'est déroulée dans les studios du CIRM[622] où j'ai pu travailler de janvier jusqu'à mai 2016. Pendant ces mois, le CIRM a mis à ma disposition ses studios et ses matériaux techniques permettant ainsi la réalisation des applications interactives et la composition des environnements sonores[623]. D'ailleurs, le centre a fourni une expertise technique sur le développement informatique et musical du projet. En particulier, les échanges avec le directeur du centre, François Paris, se sont avérés assez importants pour définir certains principes d'interaction en scène ainsi que pour évaluer l'efficacité de certains choix musicaux. La phase d'expérimentation avec les systèmes de captation a été également supportée par Le Hublot, centre de création pour les arts numériques et le spectacle vivant[624]. Avec l'aide de Frédéric Alemany, directeur artistique du centre et artiste numérique, une évaluation qualitative de différents capteurs a été conduite. En particulier, nous avons analysé la qualité de différents dispositifs en termes d'ergonomie, de typologie de captation, de coût et d'*usabilité*. Initialement les premiers tests ont été conduits sur un système de *motion capture* "Perception Neuron" exploitant une combinaison de capteurs inertiels (accéléromètre, gyroscope et magnétomètre)[625]. Bien que ce système présente l'avantage de pouvoir créer un squelette tridimensionnel exploitant une base de données assez

---

[622] Le CIRM est l'un des six Centres Nationaux de Création Musicale, label accordé par le Ministère de la culture en 1997. Les activités du centre, dirigé par le compositeur François Paris, s'articulent autour de quatre axes : production, diffusion, recherche et formation. Elles réunissent des professionnels : compositeurs, réalisateurs en informatique musicale, chercheurs, ingénieurs du son, musicologues, étudiants en composition électroacoustique, travaillant, entre autres, sur les nouvelles technologies au service de la création musicale. Le CIRM est l'organisateur du Festival MANCA depuis 1978. http://www.cirm-manca.org/ Consulté le 12/09/2017.

[623] En parallèle nous avons également développés les systèmes interactifs destinés au contexte pédagogique dont j'ai parlé dans le chapitre 7.

[624] Le Hublot est un centre de création et diffusion créé en 2004. Implanté à l'Entre-Pont, friche artistique, le Hublot poursuit son action en faveur de la création en favorisant les relations du spectacle vivant, de la danse, de la musique et du théâtre avec les arts numériques. L'association Diva, qui gère le centre, a été créée en 1994 par un collectif d'artistes afin de soutenir la création artistique et sa diffusion vers un large public. L'originalité de sa démarche est cette volonté, commune à chacun des artistes, d'explorer de nouvelles formes artistiques, de sortir des lieux de spectacles traditionnels et d'interroger les relations que les publics entretiennent avec la création artistique. http://www.lehublot.net/ Consulté le 12/09/2017.

[625] https://neuronmocap.com/products/perception_neuron Consulté le 12/09/2017.

vaste (3x3 coordonnées tridimensionnelles pour chacun des 16 capteurs), son utilisation dans le contexte performatif risquait d'être trop contraignante. Par conséquent, nous avons opté pour un système mixte exploitant la captation optique (avec camera vidéo) aussi bien que des capteurs embarqué et des capteurs physiologiques.

La deuxième phase de travail a eu lieu dans les espaces du Hublot avec tous les membres Kokoschka impliqués dans le projet. Elle s'est déroulée entre le 21 et le 28 juin 2016 sous forme de résidence artistique financée par le Hublot. Cette résidence nous a permis de développer une première version de la pièce *You! Fight* qui a été créée au Hublot le 28 juin[626]. Dans cette phase j'ai pu participer activement non seulement à la régie du son et à la gestion des dispositifs interactifs, mais également à l'élaboration dramaturgique de la pièce. Une troisième phase de travail a été conduite du 1 au 10 décembre à Milan, dans les espaces de MACAO. Cette nouvelle résidence a donné lieu à une deuxième version de la pièce. Dans cette dernière phase de travail nous avons gardé les systèmes et les principes d'interaction expérimentés lors de la résidence au Hublot. L'analyse que je présente dans ce chapitre fait référence à la première version du travail.

8.3.1 Présentation du travail : première version

Le travail *You! Fight* se présente comme une performance hybride intégrant des éléments théâtraux aussi bien qu'un langage expressif typique des musiques électroniques actuelles. En renonçant à l'utilisation de la parole, la pièce s'articule autour de la relation entre mouvement, son et image. Comme dans le genre de l'opérette, la performance alterne des sections purement musicales à des parties plus narratives, capables de faire évoluer l'histoire sur un niveau plus abstrait. Chaque scène présente en outre un titre différent qui s'inspire des indications de tempo en musique (ex. Allegretto). Ces indications ne correspondent pas effectivement à une indication de mouvement. Les références musicales des titres fonctionnent plutôt comme éléments métaphoriques capables d'inspirer un certain imaginaire chez les *performeuses*. D'ailleurs

[626] Alice Raffaelli n'a pas pu participer à cette deuxième phase de création. Pourtant elle a été substituée par Giulia Franceshin, danseuse et *performeuse*. Alice a été réintégré dans la troisième phase de création à Milan. Cf. vidéo "You Fight @ "Le Hublot" Nice (France)" https://vimeo.com/175082075 (mot de passe : pensée sonore)

les titres musicaux servent à créer une sorte de jeu linguistique permettant de briser les conventions esthétiques entre forme théâtrale et forme musicale.

La pièce s'articule autour d'un dispositif scénique inspiré du *chess-boxing*, discipline sportive imaginée, dans les années 1990, par le dessinateur français Enki Bilal dans sa bande-dessinée "Froid Equateur". Dans ce cadre, les deux *performeuses* s'affrontent en alternant des tours de boxe à des tours d'échec. Au fur et à mesure que les scènes se succèdent, nous comprenons que le jeu auquel nous somme en train d'assister est une transposition surréel du célèbre match d'échecs entre Gary Kasparov et l'ordinateur Deep Blue qui a eu lieu en 1997. Le match termine par l'abandon du champion russe. Après la défaite, Kasparov avais jugé que les coups de l'ordinateur étaient trop créatifs pour être le produit d'une machine, comme si, en contournant les principes logiques régissant les algorithmes probabilistes, l'ordinateur avait développé une certaine forme d'expérience. À partir des suggestions fournies par cet événement sportif sans précédent, la pièce articule une réflexion sur la relation entre les êtres humains et la technique à partir du thème de la mémoire. La notion de mémoire est ici déclinée comme forme de connaissance incarnée qui émerge dans le dialogue entre environnement et action. Comme on le sait, la démocratisation technologique et le développement de l'ingénierie de l'automatisation ont produit des outils qui d'une part facilitent la vie quotidienne - permettant un accès rapide à un nombre impressionnant de données massives [*big data*] (systèmes de géo-localisation, moteurs de recherche, encyclopédies virtuelles, données issues de réseaux sociaux, etc.) - et de l'autre, conduisent à une atrophie inévitable de ces compétences mnémoniques qui sont à la base de l'apprentissage et de la survie. Dans *You! Fight* le rapport entre la mémoire et les prothèses technologiques n'est pas simplement le thème de la narration. La question de la mémoire émerge également dans le travail préliminaire des deux *performeuses*. Dans la phase d'expérimentation, elles ont dû "pratiquer" les technologies en en incorporant les principes d'interaction. La nature improvisée de certaines sections leur a imposé d'apprendre les possibilités de génération sonore sans pourtant les réduire à une partition fixe. En outre, étant l'espace scénique subdivisé en regions interactives, les deux *performeuses* ont dû élaborer une topographie virtuelle de l'espace en mémorisant les relations entre ceci et l'environnement sonore. Cela nous a permis d'intégrer les technologies employées dans un nouvel alphabet physique. Cet "apprentissage somatique" a permis aux *performeuses* de créer et d'interpréter de la musique en se libérant de cette attitude purement passive qui caractérise habituellement notre rapport avec la

technologie.

La fonction du son dans la pièce s'articule par des degrés d'importance croissante. À chaque niveau, le son est à la fois la source du processus d'apprentissage aussi bien que la projection acoustique du mouvement. D'abord le son est présenté comme écho du mouvement, ou comme un signe diégétique capable d'amplifier la fonction sémantique du geste. Progressivement, le son prend une fonction de plus en plus expressive : ici l'interaction sonore sert à remplacer la parole qui est absente ou, éventuellement, à décrire l'émergence d'une certaine tension émotionnelle et psychologique des personnages. Le son est d'ailleurs une trace dans la topographie virtuelle dessinant l'espace. De cette manière, le son assume une fonction principalement épistémique, en devenant ainsi la solution possible à l'énigme de la mémoire et de la technique. Dans les parties plus proprement musicales, les syntaxes gestuelles, décodées par la mémoire somatique des *performeuses*, composent une partition ouverte. Dans ce cas, les gestes, initialement diégétiques, se libèrent de la convection théâtrale pour se fondre avec l'environnement sonore. La forme du concert apparaît comme le climax d'un processus cognitif basé sur la capacité d'apprentissage créative et somatique de la relation espace-mouvement-information sonore.

Tout comme le son, l'élément visuel joue un rôle clé. Dans cette pièce, la vidéo revêt deux fonctions principales. D'une part elle est utilisée pour projeter sur écran et sur scène des éléments de la scénographie (le ring de boxe, la table à échecs) ou des éléments narratifs (ex. les titres des différentes scènes). De l'autre, il agit directement comme présence lumineuse qui délimite l'espace avec des lignes, des couleurs et des mots projetés à la fois sur le sol, sur les acteurs en scène et sur l'écran. Par cela, la vidéo modifie le cours de la performance en introduisant des "signes" concrets dans l'espace de scène.

8.3.2 Méthodologie de travail

Comme je l'ai suggéré précédemment, l'ensemble des systèmes interactifs utilisés dans cette pièce a été développé en deux phases. Dans la première phase, réalisée dans les studios du CIRM entre janvier et mai 2016, j'ai créé un certain nombre des possibilités d'interaction en évaluant les contraints de la scène et la cohérence de ces outils par rapport à l'idée dramaturgique de base. Dans cette période de travail j'ai travaillé

principalement en solitaire, exception faite pour les tests avec les capteurs que j'ai conduit avec Frédéric Alemany au Hublot. Dans la deuxième phase, le travail s'est déroulé d'une manière plus collective en interaction avec les autres membres de la compagnie Kokoschka. Dans ce cas, mon travail s'est articulé sur trois niveaux : 1. Un travail conceptuel avec le dramaturge et la metteuse en scène; 2. Un travail en scène avec les *performeuses*; 3. Un travail informatique et musical consistant à adapter les systèmes interactifs aux exigences de la pièce. 1. Dans le premier cas nous avons travaillé collectivement en réfléchissant d'une part sur les possibilités techniques aussi bien que sur leurs adaptabilité en scène, et de l'autre sur la fonction du son en tant qu'élément narratif. Cela m'a permit de participer directement à l'écriture dramaturgique de la pièce. 2. Dans le deuxième cas, il s'est agi de travailler avec les *performeuses* en leur expliquant les possibilités d'interaction offertes par les systèmes et en leur montrant les stratégies les plus efficaces pour contrôler le son. Mon expérience directe avec les technologies (non seulement en tant que réalisateur mais aussi en tant que *performeur*) s'est avéré très utile dans ce cadre. Un aspect caractéristique de mon travail de développeur est de tester directement, par le biais de la pratique, l'*usabilité* des dispositifs. Après avoir réalisé un premier prototype d'algorithme, je prépare une interaction sonore de base me permettant de tester la réactivité du système. Sur la base d'un certain nombre d'essais j'évalue de manière empirique la qualité du contrôle sonore et l'implication corporelle dans l'interaction. La qualité de l'interaction est donc évaluée directement par le biais de la pratique. Par cela la réalisation de la partie informatique et puis musicale, se développent en connexion avec la "mise en action" du système. Cette démarche s'avère être assez utile puisqu'elle permet de s'interroger directement sur le potentiel expressif de l'interaction. 3. Le troisième niveau du travail a impliqué l'adaptation des systèmes interactifs, développés dans la première phase, aux exigences dramaturgiques qui émergeaient pendant la résidence. En ce sens, les systèmes définitifs ont été réalisés selon une stratégie *top-down*. Le expressions *top-down* ou *bottom-up* désignent des méthodologies utilisées pour analyser les situations problématiques et établir des hypothèses appropriées pour leur solution. Ces modèles sont particulièrement utilisés dans la création des algorithmes. Dans le modèle *top-down* on utilise une démarche descendante dans laquelle le système est défini en partant d'une vision générale ou en décrivant le but principal sans entrer dans les détails du développement. Chaque partie du système est par la suite achevée selon des procédures (décomposition,

spécialisation et spécification) qui ajoutent plus de détails à la conception générale[627]. Il s'agit pourtant de définir le but de l'interaction et de développer, petit à petit, la stratégie la plus adaptée. De la même manière, avec le dramaturge et la metteuse en scène, nous sommes partie de la définition de l'action scénique pour adapter l'écriture de l'algorithme et de l'interaction sonore de façon fonctionnelle.

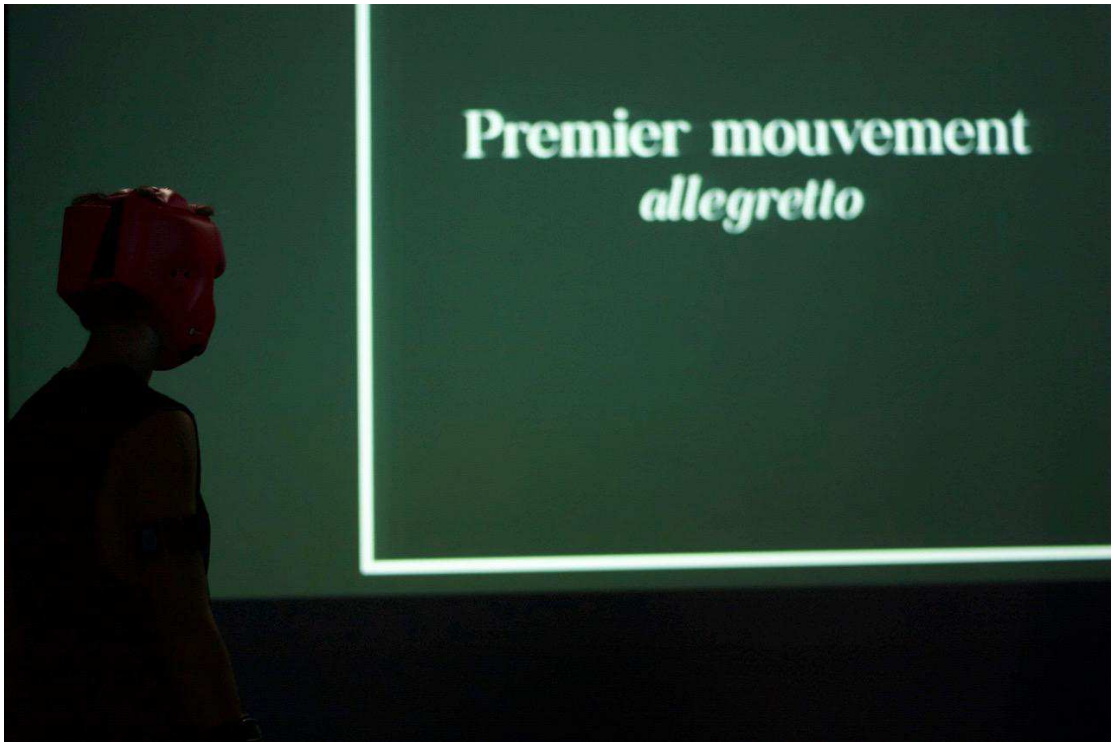


Fig. 17 : Ondina Quadri, Première scène

8.4 Description des systèmes interactifs développés

L'environnement technologique utilisé se compose de trois niveaux autonomes capables de révéler la complexité du processus d'apprentissage thématisé dans la pièce. Chacun de ces niveaux utilise une technologie spécifique afin d'explorer, grâce au *feedback* sonore, diverses modalités d'expression corporelle : le geste, l'espace et la proprioception.

Premier niveau: « Le geste ». Ce premier niveau se base sur l'utilisation de capteurs de mouvement permettant de détecter tantôt la puissance tantôt la direction du geste. Les accéléromètres, placés sur les

[627] Cf. Karsten RAUSS et Gilles POURTOIS, "What is Bottom-Up and What is Top-Down in Predictive Coding?" in *Frontiers in Psychology*, 4(276), 2013. URL : https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3656342/ Consulté le 18/09/2017.

avant-bras et sur les chevilles des interprètes, permettent de déclencher des échantillons lorsque l'accélération du mouvement dépasse un seuil préétabli. Ces interactions ont été utilisées tout particulièrement dans les rounds de boxe pour sonoriser les "coups" aussi bien que les mouvements des jambes. Ce niveau d'interaction permet de valoriser la nature rythmique du geste sportif. Dans les scènes d'échecs, au contraire, la captation se focalise plutôt sur les mouvements graduels des mains. À ce propos les gestes rotatoires sont particulièrement valorisés. Les structures mélodiques produites contrôlent également les mouvements des pièces du jeu d'échecs projetés sur scène.

Deuxième niveau: « Espace interactif ». Ce niveau se base principalement sur l'exploitation d'un système de captation optique. Ceci permet aux *performeuses* d'interagir avec l'espace de deux manières différentes, à travers sa kinesphère ou à travers l'espace environnant. Dans le premier cas, le système permet à la *performeuse* de déclencher des sons en touchant des points de l'espace autour d'elle. De cette manière elle devient consciente des limites de sa propre kinesphère par le biais du son. Dans le deuxième cas, les *performeuses* interagissent avec des "zones réactives" distribuées dans l'espace. Celles-ci permettent aux *performeuses* de tracer un itinéraire sonore dessinant matériellement l'espace scénique.

Troisième niveau: « *Bio-feedback* ». Les capteurs EMG (Electromyographie) sont utilisés dans certaines parties du travail afin d'explorer l'aspect intérieur du geste. Ce type d'interaction nous a permis de travailler sur l'intentionnalité du mouvement en rendant visible ses composants internes. Dans ce cas, le travail des interprètes consiste à relier les sensations externes produites par le *feedback* sonore avec le contrôle proprioceptif du mouvement.

8.4.1 Première scène de boxe : les mouvements du boxeur

La première et la troisième scène de la pièce s'articulent autour de la boxe. Le combat n'est pas réel, il s'agit plutôt d'un "combat dansé" dans lequel les *performeuses* suivent une partition de mouvements semi-ouverte : elles connaissent par exemple les actions principales qu'il faut exécuter durant la scène mais elles improvisent les nombres de coups et les trajectoires dans l'espace. Dans la première scène, intitulée "Premier Mouvement. *Allegretto*", l'idée était de créer un système de sonorisation des gestes typiques du boxeur. Un travail préalable a été fait avec la metteuse en scène en observant un grand nombre de vidéos de

boxe professionnelle. Après beaucoup d'essais avec différents systèmes d'interaction, j'ai décidé de me concentrer sur les mouvements rythmiques des jambes ainsi que sur les coups ainsi dits "directs". En particulier, nous avons travaillé, avec les *performeuses*, sur la sonorisation des "directs du bras arrière". Ce mouvement, appelé « *cross* » en anglais, est généralement utilisé pour délivrer un coup puissant dans les sports de contact. Il est donc très préparé et doté d'une grande quantité d'énergie. Afin de sonoriser de manière cohérente ces deux typologies de mouvement, j'ai décidé d'exploiter des accéléromètres tantôt pour les membres inférieurs tantôt pour les membres supérieurs. En travaillant sur l'accélération, ces capteurs permettent en effet de valoriser les gestes soudains et saccadés. Pour les membres inférieurs j'ai utilisé deux Wiimotes (un par *performeuse*). Étant les mouvements des jambes assez symétriques, l'utilisation de deux accéléromètres par *performeuse* (un pour chacune jambe) n'était pas particulièrement nécessaire, d'autant que l'idée était ici de sonoriser l'allure générale des deux *performeuses*. Le dispositif est placé tout au long de la cheville et fixé avec une bande élastique. Du point de vue de l'interaction, j'ai adopté une stratégie assez linéaire : utilisation des données brutes et mapping direct. Les données issues des accéléromètres (les accélérations sur les axes x,y,z) sont d'abord transformées en valeurs absolues et ensuite sommées afin d'obtenir une moyenne correspondant à l'accélération globale. En dépassant un certain niveau de seuil, à savoir un certain niveau d'accélération, le mouvement déclenche une note MIDI. La valeur de seuil est "personnalisée", dans le sens que j'ai établi des seuils spécifiques ajustés en fonction des expérimentations préalables avec les *performeuses*. En général nous avons adopté des seuils assez bas puisque, contrairement aux coups des membres supérieurs, les mouvements des jambes ont des résultantes énergétiques beaucoup moins puissantes. Du point de vue musical, ce choix m'a permis de créer une sorte d'accompagnement rythmique caractérisant le mouvement des *performeuses*. Afin de valoriser l'aspect rythmique des mouvements de jambes, j'ai utilisé des sons de percussion assez sombres. Les sons produits par les deux *performeuses* sont explicitement similaires. Cela permet de créer une sorte de "terrain sonore" commun.

Fig. 18 (Objet `PLISpeedlim 500`)

En ce qui concerne les mouvements des membres supérieurs, j'ai exploité les accéléromètres contenus dans les MYO Armbands. Chaque *performeuse* endosse un dispositif MYO sur le bras droit, c'est-à-dire le bras normalement utilisé pour le coup appelé "*cross*". Pendant les premières expérimentations, j'ai remarqué que les mouvements rythmiques des jambes provoquaient des mouvements involontaires des avant-bras. Afin de sonoriser seulement les mouvements volontaires (dans notre cas les coups directs) j'ai donc utilisé des niveaux de seuils assez haut. Cela a obligé les *performeuses* à donner beaucoup de puissance dans les coups directs. En outre, le signal en entrée a été ultérieurement filtré avec un "objet Max"[628] que j'ai créé pour éliminer les fluctuations erratiques produites par le geste[629]. En gros, cet objet, appelé `PLISpeedlim 500`[630] (fig. 18), permet de sélectionner une et une seule impulsion dans une plage de 500 ms. Cette plage est modifiable selon les exigences. Chaque coup direct déclenche un et un

[628] Pour "objet Max" on entend un module développé dans l'environnement de programmation *MaxMsp*. Le logiciel présente un répertoire d'objets permettant de réaliser de nombreuses fonctions logiques, arithmétiques ou de traitement de signal. L'utilisateur peut en outre écrire ses propres algorithmes en les transformant ensuite en "objets" qu'on ajoute au répertoire standard de Max. Cette procédure permet de créer un répertoire personnalisé de modules exploitant des fonctions spécifiques.

[629] En statistique et en informatique on utilise l'expression "erratique" pour définir les flux de données présentant des variations irrégulières.

[630] Dorénavant tous les algorithmes, et les codes seront écrit avec le font "Courier" et avec la taille 10, afin de les distinguer clairement du corps du texte. Cela est en accord avec le standard des revues internationales majeures (à l'instar du *Computer Music Journal*).

seul *trigger*. Le *trigger* est élaboré par un algorithme de génération aléatoire assez simple : chaque *trigger* génère, de manière aléatoire, une note MIDI comprise entre 60 et 66, chaque note étant associée à un son différent au sein d'une même "famille sonore". Le deux *performeuses* interagissent avec une "famille sonore" spécifique. Chaque famille sonore (une par *performeuse*) est composée de sept sons similaires mais légèrement différents. Du point de vue musical, cela permet de créer des variations sonores avec un geste répétitif (le coups direct). D'ailleurs la ressemblance des sons permet de percevoir clairement une identité acoustique commune. Du point de vue du timbre les sons des *performeuses* sont assez brillants de façon à les distinguer des sons produits par les mouvements des jambes. En même temps les sons de chaque *performeuse* sont assez caractéristiques : dans le cas d'Ondina il s'agit de bruits de radio, dans les cas de Giulia il s'agit de sons élaborés à partir d'une sonnette. Les sons produits par les coups directs représentent pourtant l'identité sonore du personage. Cela permet d'associer aisément une certaine sonorité au mouvement de chaque *performeuse*.

8.4.2 Deuxième scène de boxe : contrôle, effort et ralenti

Si la première scène se base entièrement sur des mouvements issus de la boxe, la deuxième scène de combat, intitulée "Deuxième Mouvement. *Largo*", introduit un nouveau travail corporel inspiré de la technique cinématographique du "ralenti". La scène est divisée en deux parties. La première partie se présente comme une séquence surréelle dans laquelle les *performeuses* exécutent un échange de coups extrêmement progressif. Cette séquence, demande aux *performeuses* un niveau de contrôle du mouvement assez complexe impliquant une tension du tonus musculaire particulièrement constant. Par cette partie, j'ai décidé de sonoriser ces mouvements "au ralenti" à travers les signaux EMG. Les sons utilisés sont assez puissants et saturés. Mon idée était en effet d'amplifier la sensation d'effort des *performeuses* en rendant audible pour elles et pour le public la tension exercée sur le tonus musculaire. Le son manifeste ainsi la tension interne du geste en créant un contraste expressif entre l'absence apparent de mouvement et la puissance de l'énergie sonore. Au niveau du codage, j'ai divisé les signaux EMG en deux groupes. Le premier groupe exprime la tension produite par la contraction de l'avant-bras (paramètre C_1), tandis que le deuxième groupe reflète la contraction conjointe de l'avant-bras et du biceps en demandant ainsi une énergie

musculaire majeure (paramètre C_2)[631]. Les deux groupes contrôlent deux paramètres continus. Le deuxième paramètre est activé lorsque l'avant-bras est complètement contracté. Du point de vue du mapping j'ai utilisé une combinaison entre mapping divergent et convergent. Chez Ondina, la contraction C_1 lui permet de contrôler en même temps la fréquence de coupure d'un filtre passe-bas et la variation de hauteur des grains d'une synthèse granulaire, chez Giulia la contraction C_1 contrôle un filtre ainsi que le paramètre *dry/wet*[632] d'un résonateur. Cette première configuration du mapping exploite donc une cohérence en termes perceptifs entre fréquence et effort. L'absence d'activité isotonique ne produit pas de son et correspond donc au silence. La progression de la tension musculaire produit au contraire l'émergence de la texture sonore ainsi qu'une variation graduelle du timbre (d'un son plus grave à un son plus brillant) et de la fréquence (du grave à l'aigu). Le second degré de contraction (C_2) ajoute une distorsion ultérieure du son. Dans le cas d'Ondina, cela produit une variation de fréquence d'un modulateur en anneau[633] tandis que dans le cas de Giulia il contrôle la distorsion inharmonique du son. Comme on le voit l'articulation geste-son est structurée selon une cohérence morphologique : absence de tension/silence, tension basse/ fréquences graves et timbre sombre, tension moyenne/ fréquences aiguës et timbre brillant, tension haute/distorsion. Ces repères acoustiques permettent aux *performeuses* d'articuler la composition du geste sur la base d'une rétroaction sonore cohérente qui les aide à améliorer le contrôle du tonus musculaire. En effet, pendant les répétitions j'ai pu remarquer comment le *feedback* sonore affecte non seulement la qualité expressive du geste mais la capacité des *performeuses* à contrôler la progression graduelle des mouvements aussi.

---

[631] Pour une description plus détaillée du codage des signaux EMG je renvoie au prochain chapitre. Voir en particulier le paragraphe "Traitement fonctionnel des signaux physiologiques" : cf. *infra*, p. 364-368.

[632] Le paramètre dry/wet indique usuellement le rapport entre le son "pur" (*dry*) et le son "traité" (*wet*) dans les effets audio numériques et analogiques.

[633] La modulation en anneau est l'un des premiers effets utilisés dans la composition électroacoustique et électronique. Il s'agit d'une modulation utilisant un oscillateur pour créer une onde sinusoïdale, qui est ensuite multipliée avec le signal de départ (celui d'une guitare par exemple) pour produire de nouveaux harmoniques.

Fig. 19 : Troisième scène, « boxe au ralenti »

8.4.3 Les scènes d'échecs

Dans la pièce il y a deux scènes du jeu d'échecs, présentées comme des interludes (*Moderato* et *Andante*), qui suivent les deux scènes de boxe. Les deux scènes du jeu d'échecs reprennent les coups joués pendant le célèbre match entre Kasparov et Deep Blue. Les deux *performeuses* sont assises des deux côtés de la salle. Un échiquier est projeté sur l'écran aussi bien que sur scène permettant au public de suivre le déroulement du match. Évidemment, nous sommes dans une situation opposée à celle de la boxe aussi bien en termes de présence physique sur scène qu'en termes de quantité de mouvement ou même en termes de projection du corps dans l'espace. Par conséquent, là où la corporéité du boxeur était assez dynamique en impliquant des mouvements très diversifiés, celle du jouer d'échecs devient très statique en s'exprimant principalement à travers les gestes de la main qui meut les pièces du jeu d'échecs. C'est la raison pour laquelle j'ai donné une identité sonore à ces gestes. Les deux *performeuses* endossent les Hot Hands sur l'une des deux mains (la droite pour Giulia la gauche pour Ondina). Le système développé permet des interactions similaires à celle que ja' présenté lors de la deuxième étude de cas du chapitre précédent : les trois rotations issues du mouvement de la main permettent de générer et de modifier des

textures assez harmoniques en contrôlant, dans ce cas, les mouvements d'échecs. Le système utilisé pour interagir visuellement avec l'échiquier est assez simple. Les données issues des trois rotations sont combinées afin d'obtenir un descripteur de l'activité globale de la main. Dès qu'un certain seuil, correspondant au début de la modulation sonore, est dépassé un chronomètre est activé. Une fois déclenché, le chronomètre envoie automatiquement une impulsion après 2-3 s (le temps est déterminé de manière aléatoire par le système). L'impulsion est envoyée de mon ordinateur à celui de Fabio (les deux sont connectés via un réseau local[634]). Cela détermine le mouvement des pièces du jeu d'échecs. Les mouvements, générés en temps réel, suivent des séquences préétablies qui correspondent aux vrais coups joués par Kasparov et Deep Blue pendant le match du 1997.

Du point de vue de l'articulation geste-son, les deux *performeuses* ont développé un répertoire gestuel personnel tenant en compte tantôt la qualité de leurs mouvements tantôt la production sonore. À cet égard, le travail de maîtrise de l'interface a été particulièrement important. Au contraire des scènes de boxe, où le *feedback* agit en sonorisant un repertoire de mouvements indépendants du résultat musical, ici le geste est fortement lié à la production sonore. Par conséquent les *performeuses* ont appris les possibilités d'interaction offertes par le système. Cela leur a permis de créer un style personnel d'articulation geste-son. Le mouvement de la main se structure ici à partir de trois éléments : le résultat musical, la qualité des gestes et l'interprétation dramatique lié au déroulement du match. Bien que les gestes sonores soient improvisés, ils articulent une tension qui reflète la progression du match (et donc du texte théâtral). En se substituant à la parole, les sons générées par les deux *performeuses* assument pourtant une allure prosodique : la durée, les accents, la modulation et l'inflexion des séquences sonores évoquent le discours parlé en créant un sous-texte cohérent par rapport à l'action scénique.

8.4.4 L'espace comme environnement sonore

Entre la deuxième scène de boxe et la deuxième scène du jeu d'échecs, la pièce présente une sorte de "solo" de Kasparov (Ondina) qui introduit le thème de la mémoire de manière explicite. Cette scène

[634] Le réseau a été créé grâce à un routeur qui nous permet d'échanger en temps réel des flux de données sur une adresse IP partagée.

s'intitule "Aria. Le champion Kasparov dans les cinq jardins de la mémoire". Celle-ci est, avec le final, la partie la plus musicale de la pièce. L'idée dramaturgique était de créer un environnement interactif permettant à Kasparov de jouer avec, et à travers, l'espace. De plus, nous voulions créer un dispositif scénique conduisant la *performeuse* (dans ce cas Ondina) à explorer la géographie sonore de l'environnement en connectant mémoire topographique et action[635]. À ce propos j'ai développé un système de régions interactives basé sur l'utilisation de la caméra Kinect. Le système permet d'interagir avec l'espace sur deux niveaux. Tout d'abord l'entrée de la *performeuse* dans certaines régions de l'espace (il s'agit des cinq zones interactives circulaires) permet de déclencher des bandes sonores. Les sons sont reproduits tant que la *performeuse* reste dans la zone de détection. Du point de vue du codage, ces régions sont créées en calculant la distance entre la *performeuse* et le centre de la zone interactive : une équation de la distance vectorielle a été utilisée à ce propos. Il s'agit d'un système similaire à celui décrit dans le troisième exercice du chapitre six; ceci permet à la *performeuse* de déclencher le son avec le corps entier ou seulement avec une partie du corps (le pieds, les membres supérieurs, etc.)[636]. De plus, une fois dans la zone de captation, la *performeuse* peut moduler le son activé par la présence physique à travers le geste. Les paramètres de chaque zone sonore sont contrôlés par les données issues des mouvements de la mains (rotations sur les axes x et y). Le dispositif Hot Hand est utilisé à ce propos. La rotation sur l'axe vertical contrôle la fréquence d'un filtre coupe-bande[637]. Les mouvements verticaux déterminent donc une variation interne de la couleur du son. En même temps, la rotation sur l'axe longitudinal contrôle le *dry/wet* d'un effet de délai utilisé non pas pour créer un retard mais

---

[635] La mémoire topographique ou spatiale est la partie de la mémoire d'un individu responsable de l'enregistrement des informations concernant l'espace environnant et l'orientation spatiale. La mémoire spatiale est ainsi requise pour la navigation spatiale dans un lieu connu comme un quartier familier. Cf. John E. Fisk et al., "The role of the executive system in visuo-spatial memory functioning" in *Brain and Cognition*, 52(3), 2003, p. 364–381. La relation entre perception et projection dans l'espace implique d'ailleurs un processus de virtualisation de l'anatomie corporelle. Je renvoie à ce propos au premier chapitre et en particulier au paragraphe "La perception comme projet moteur" : cf. *supra*, p. 47-49.

[636] Même si le codage utilisé est similaire, le design sonore utilisé pour cette pièce est complètement différent de celui proposé pour l'exercice d'analyse du mouvement.

[637] Le filtre coupe-bande (*notch filter* en anglais) est composé d'un filtre passe-haut et d'un filtre passe-bas dont les fréquences de coupure sont souvent proches mais différentes, la fréquence de coupure du filtre passe-bas est systématiquement inférieure à la fréquence de coupure du filtre passe-haut.

pour ajouter une distorsion inharmonique au son de base[638].

Du point de vue de l'action scénique, Ondina-Kasparov explore d'abord l'espace en découvrant graduellement les zones interactives. Nous avons choisi de ne pas marquer les points de détection sur scène. Cela impose à la *performeuse* de relier sa mémoire topographique, entrainée pendant les répétitions, avec la réponse sonore de l'environnement. Dans ce cadre, le *feedback* sonore représente donc une trace acoustique capable de suggérer des trajectoires dans l'espace. Ces trajectoires sont également renforcées par le retour visuel : les zones activées sont colorées sur scène par des carrés blancs ou des numéros associés à la trajectoire des mouvements. Néanmoins, la rétroaction visuelle n'a pas un effet sur la qualité des mouvements de la *performeuse*. Ceci se base exclusivement sur le retour sonore. La correspondance entre mouvement, son et vidéo a plutôt la fonction de renforcer la connexion multimodale entre action et retour sonore tout en rendant intelligible l'interactivité de la scène pour le spectateur. De manière progressive, la *performeuse* prend conscience non seulement des zones sonores mais aussi de la manière dont celles-ci peuvent être modulées par le biais du geste. Les mouvements de la main deviennent donc un canal primaire de l'expérience perceptive permettant à la *performeuse* d'explorer la relation entre rythme et espace. Petit à petit, des séquences musicales sont introduites par la régie du son. Il s'agit surtout de cellules rythmiques minimales inspirées du style de la techno minimal et du dub. Cet arrière-plan sonore (qui représente l'émergence d'une voix sonore de l'espace) fourni à Ondina une base sur laquelle coordonner tantôt ses mouvements tantôt le contrepoint musical. L'utilisation de délais rythmiques sur la base musicale aussi bien que sur les sons générés par la *performeuse* aide à créer une forte synergie entre l'environnement sonore et les trajectoires qu'Ondina dessine dans l'espace scénique.

---

[638] Tout comme pour les effets de saturation utilisés dans la scène du ralenti, les distorsions inharmoniques sont ici réalisées à travers un *delay* stéréophonique avec un retard (*delay time*) de l'ordre de 15-25 ms. L'écart entre le retard du canal de droite et de gauche détermine la distorsion. Si le rapport entre le retard de gauche et celui de droite est rationnel (au sens mathématique du terme - un nombre toujours réductible à une forme de fraction), la distorsion résultante sera harmonique, si le rapport est irrationnel (non réductible sous forme de fraction, comme la racine carrée de 2 par exemple) la distorsion générera des partiels inharmoniques.

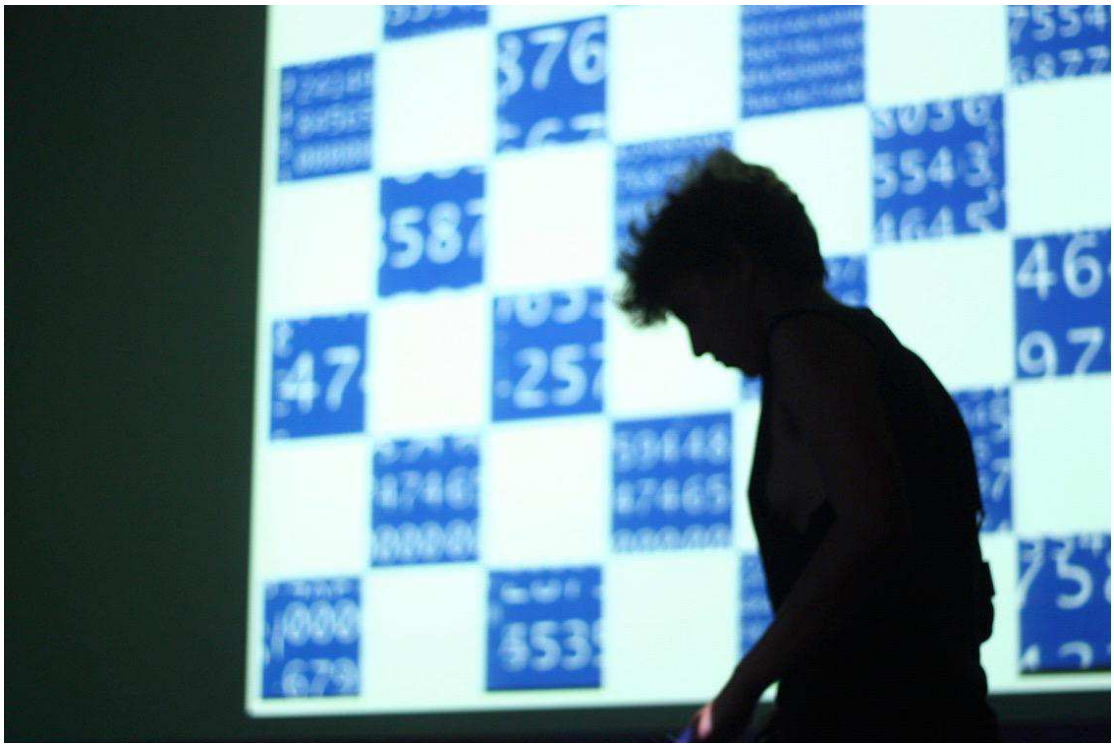


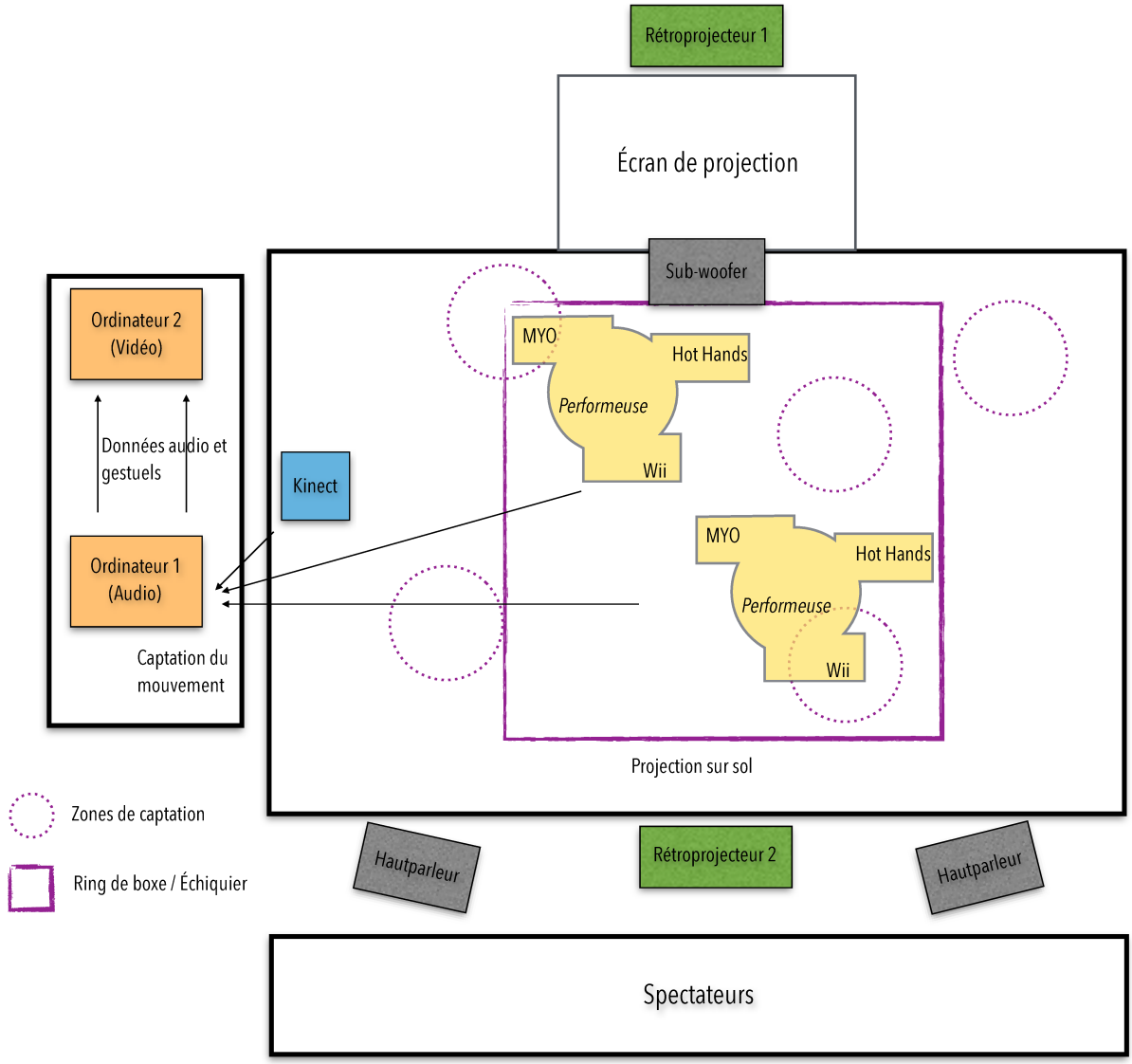
Fig. 20 : "Le champion Kasparov dans les cinq jardins de la mémoire", Ondina Quadri

Après le deuxième match du jeu d'échecs, Giulia interprète son solo qui représente symboliquement la victoire de Deep Blue sur le champion Kasparov. Comme cette partie est la plus "dansée" et la plus formelle de la pièce, j'avais moins de contraintes en termes d'action dramaturgique. Par conséquent j'ai pu travailler directement avec la *performeuse* en essayant de trouver un point en commun entre son style de danse et les possibilités offertes par les dispositifs interactifs. Après des sessions d'improvisation avec différents systèmes d'interaction nous nous sommes concentrés sur des pas et des gestes provenant du style hip-hop. J'ai décidé donc de faire travailler Giulia sur deux niveaux d'interaction. Le premier se base sur la création d'un système de *triggers* distribués autour de la kinesphère : en particulier j'ai créé six points symétriques autour de la silhouette de la *performeuse*; en touchant ces points avec n'importe quelle partie du corps, elle déclenche un son différent[639]. Du point de vue du design sonore, il a été décidé avec la metteuse en scène de créer une situation fortement lyrique exprimant la "voix" de l'ordinateur. Au lieu d'utiliser des sons évoquant une

[639] Même ici j'ai basé l'interaction sur le calcul de la distance vectorielle entre le squelette analysé par la Kinect et des points fixes aux limites de la kinesphère. À l'inverse de l'algorithme utilisé pour détecter les régions de l'espace, ce calcul ne se base pas sur les coordonnés longitudinales et de profondeur (y,z) mais sur les coordonnés verticales et longitudinales (x,y)

dimension "*machinique*" le parti prix a privilégié des sonorités plus "humaines". Six déclencheurs ont été associé à six échantillons de voix chantée. Chaque échantillon a une hauteur différente permettant ainsi à la *performeuse* de composer des mélodies à travers ses mouvements. Un deuxième niveau d'interaction se base sur l'utilisation de la contraction musculaire. Même dans ce cas le système permet d'exploiter deux niveaux de contraction. Le premier niveau (C_1) contrôle le volume d'un échantillon que j'avais créé pour un autre travail qui se base sur l'enregistrement et le traitement d'un murmure. Le deuxième niveau (C_2) permet de générer un bourdon grave élaboré à partir d'un échantillon de contrebasse. Grâce à cette configuration la *performeuse* peut explorer différents niveaux d'intensité musicale, gestuelle et dramatique. Alors que le solo d'Ondina était principalement basé sur la construction de trajectoires musicales, l'interprétation de Giulia s'articule autour de deux pôles majeurs : les éléments formels des séquences dansées et la recherche d'une production sonore. Ce rapport se déroule pendant le solo comme une boucle : l'ambiance sonore affecte la qualité expressive de la présence scénique de la *performeuse*, en même temps, les sons se composent dans un rapport de dépendance assez claire avec le mouvement. Le travail de Giulia consiste à trouver un équilibre harmonique entre ces deux dimensions circulaires qui se répondent.

Schéma 10 - Configuration technique *You! Fight*



Vers la fin du solo, Ondina entre en scène et commence à interagir avec l'ambiance sonore créée par Giulia. Tout en gardant leurs identités sonores et motrices, les deux *performeuses* articulent un dialogue musical à distance fait de contrastes, d'interactions et d'écoute réciproque. Chacune développe le style corporel et musical découvert pendant le déroulement de la pièce. Giulia continue les explorations de la kinesphère et de la dynamique du geste (via l'effort musculaire) en ajoutant aussi des déplacements, Ondina répète l'exploration rythmique de l'espace. De plus, dans cette section finale les *performeuses* évoquent également les gestuelités explorées dans la pièce en adaptant leur fonction au nouveau contexte musical. Au cours de l'improvisation, encore une fois, des bases musicales interviennent de l'extérieur en

supportant l'interprétation musicale et corporelle des deux *performeuses*. En ce qui concerne l'exécution en régie, les bandes sonores envoyées suivent l'évolution de l'improvisation d'Ondina et Giulia en créant une sorte de dialogue à trois entre elles et moi. L'acmé de la pièce se manifeste donc sous une forme concertante dans laquelle le répertoire gestuel que nous avons découvert durant la pièce ré-émerge en une nouvelle sémantique sonore, non plus seulement fonctionnelle, mais également expressive.

Fig. 21 : Deuxième version de la pièce, 10 décembre 2016, MACAO (Milan).

8.5 Considérations conclusives

La description du processus de création de *You! Fight* montre comme l'introduction de l'interaction sonore sur scène implique une diversification des niveaux de dialogue entre le corps et la musique. L'adoption d'une stratégie *top-down* permet d'adapter les techniques de codage et de design sonore aux

exigences dramaturgiques et scéniques de la pièce. Néanmoins, l'expérience concrète du travail en scène avec les *performeuses* montre comment la corporéité s'adapte et se transforme en fonction de l'interaction sonore. Par cela, les différentes présences sonores de la pièce reflètent autant de modalités d'organisation de la corporéité et pourtant différentes déterritorialisations de l'anatomie virtuelle. Deux modalités principales, et opposées, peuvent être mises en lumière. D'un côté nous avons les scènes de boxe "pures" (je ne considère pas pour l'instant la scène du ralenti). Ici le *feedback* sonore fonctionne comme écho du geste. Tantôt les coups directs, tantôt les mouvements auxiliaires des jambes, sont amplifiés en devenant audibles. Le mouvement est donc soumis à une forme d'extension virtuelle, qui dans ce cas prend la forme d'une véritable sonorisation au sens strict du terme. D'ailleurs, le rapport macroscopique entre son et mouvement se déroule de façon très claire du point de vue de l'organisation perceptive : l'action correspond au son, l'attente au silence. Au même moment, le son se fait trace du mouvement en gardant dans sa dynamique un résidu gestuel qu'est ici exprimé sous forme acoustique. Si donc le corps devient sonore, de la même manière le son se *corporise*. Du point de vue du spectateur, le son renforce ici la perception du geste en orientant la vision par le biais de l'écoute. Ce processus d'intégration multimodal n'est pas neutre car il dessine une nouvelle géographie sensorielle en projetant l'attention esthétique sur les parties du corps amplifiées ou étendues.

L'autre extrême est représenté par les parties plus proprement musicales. Surtout dans le final, tout comme dans la deuxième partie du solo d'Ondina-Kasparov, le geste devient fonctionnel pour la production sonore. Ici, le mouvement n'est pas conçu indépendamment du résultat acoustique. Si donc dans le cas de la boxe c'est le son qui s'adapte à l'articulation interne du corps, dans les parties plus musicales c'est l'organisation du geste qui émerge de manière cohérente en rapport au contexte musical. Les scènes du jeu d'échecs se situent d'une façon intermédiaire par rapport à ces deux extrêmes, même si on remarque une prédominance du geste instrumental. En effet les gestes du jeu échecs s'articulent selon une double finalité : d'une part, ils sont des gestes de contrôle destinés à la production sonore, de l'autre la qualité du phrasé musical reflète la progression dramatique de la scène. Dans ce cadre le *feedback* acoustique ne représente pas une véritable sonorisation du mouvement. Néanmoins, il agit tantôt comme extension tantôt comme intensification du geste. L'intensification émerge dans la mesure où les mouvements de la main

deviennent, grâce au *feedback* sonore, le canal perceptif principal pour les *performeuses* aussi bien que pour le public : étant la seule partie du corps produisant le son, la main assume ici une importance remarquable du point de vue de la catégorisation perceptive de la scène. D'ailleurs, le son fonctionne également comme extension puisqu'il permet d'exprimer sous forme musicale l'intention communicative et l'identité psychologique des personnages. Le geste n'est donc pas seulement instrumental, mais aussi communicatif et figuratif.

Dans la scène du ralenti et, dans une certaine mesure dans le solo d'Ondina, l'interaction sonore renvoie à une troisième modalité fonctionnelle. Tantôt dans l'échange des coups directs au ralenti, tantôt dans l'exploration de l'espace de Kasparov, la rétroaction sonore informe les *performeuses* sur la qualité du mouvement. Dans le cas du solo d'Ondina, la trace sonore devient un repère sensoriel permettant de marquer l'espace selon des trajectoires rythmiques. Ici le son informe Ondina sur la relation entre son corps et l'espace, en lui permettant de développer une connaissance écologique de l'environnement. Dans le cas du ralenti, la rétroaction du *feedback* sonore peut être décrit selon deux vecteurs : la rétroaction sur le public et la rétroaction sur le *performeur*. La sonorisation de la contraction musculaire rend audible pour le public une tension interne au mouvement qui ne serait pas autrement perceptible. L'extension de l'effort sous forme sonore devient ici non seulement expression d'une qualité interne du corps du *performeur* mais le vecteur d'une dramatisation de la scène. De la part des *performeuses*, le *feedback* leur permet de prendre conscience de la qualité de leur effort par le biais d'une nouvelle modalité sensorielle. Cette prise de conscience agit inévitablement sur la composition du geste. Par conséquent, le mouvement se réorganise d'une manière inédite exploitant tantôt le canal proprioceptif habituel tantôt les informations apportées par la rétroaction sonore. Le son renforce alors la conscience somatique du mouvement en apportant une nouvelle image sensorielle (le corps synthétique du son) qui permet d'améliorer la qualité des mouvements en ralenti. Le *feedback* agit ici comme "connaissance de la performance" [*knowledge of performance*[640]] permettant aux *performeuses* de connaître la qualités de leurs mouvements, en train de se faire, et de réorganiser l'anatomie corporelle en fonction de ce flux d'informations.

Toutes ces modalités d'interaction entre corps et son reflètent pourtant une déterritorialisation générale

[640] Cf. *supra*, p. 245-246.

de la corporéité en rapport avec l'environnement sonore. Cette négociation entre corps physique, corps subtil et corps de synthèse (dans ce cas l'image sonore du corps produite par le *feedback*) conduit à une reconfiguration de l'anatomie virtuelle du corps qui, comme j'ai affirmé à la fin du cinquième chapitre, ne peut pas être réduit au seul paradigme de l'extension. Même les scènes de la boxe, qui apparemment sont le moins concernées par le processus de reconfiguration corporelle, révèlent des mécanismes de réorganisation du mouvement en fonction de la rétroaction sonore. Par exemple le niveau d'effort demandé pour déclencher les sons impose aux *performeuses* d'exercer une puissance particulière dans les coups directs. En même temps la sonorisation des chevilles les oblige à différencier de manière claire l'articulation rythmique des mouvements des jambes. Le retour sonore agit en améliorant la coordination des mouvements et des pauses. Dans les parties musicales (final et deuxième partie du solo d'Ondina), nous observons deux fonctions du geste : des gestes de production sonore et des gestes d'accompagnement en réaction à l'environnement sonore. Si en effet le geste est à l'origine de la production sonore, il émerge aussi en réponse au contexte musical. Ainsi, le concert proposé dans le final ne peut pas être réduit à la seule typologie de l'improvisation musicale. À la différence d'une interprétation musicale, le cadre performatif de la pièce permet aux *performeuses* d'utiliser le mouvement non seulement pour produire le son mais également pour en exprimer les qualités structurales. Tous ces exemples nous montrent que si d'une part le geste produit le son, d'autre part la qualité sonore rétroagit sur le mouvement en connectant sensations internes et sensations externes. Cela produit l'émergence d'une géographie sensorielle stratifiée et multiple dont les *performeuses* prennent conscience au cours de la performance. À partir d'une telle prise de conscience elles peuvent alors expérimenter des modalités inédites de construction du geste en dessinant ainsi une nouvelle anatomie virtuelle du corps.

Chapitre 9

Pour une approche écologique du geste sonore.

Métaphores incarnées et autopoïèse dans le processus de création.

9.1 Étude du mouvement et pratique artistique : une vision holistique du processus de création

Dans ce chapitre conclusif, je vais approfondir l'analyse des processus créatifs dans le contexte des nouvelles technologies pour la performance. En regard des processus de création et des contextes d'analyse déjà présentés, ici je vais apporter également mon point de vue en tant que *performeur*. L'intérêt de cette partie est de montrer comment l'implication directe dans les différentes phases de conception et de mise en œuvre - développement du système interactif, design sonore et interprétation - permet d'adopter une approche plus écologique à la création interactive et à la composition du geste sonore. En d'autres termes, en s'appuyant sur une compréhension globale du processus de création il est possible de concevoir le rapport avec l'environnement technologique et sonore en interaction avec les processus d'organisation perceptive du mouvement. Une telle perspective écologique et incarnée, permet d'affecter consciemment les automatismes sensori-moteurs qui règlent l'anatomie corporelle.

9.1.1 Introduction au contexte de travail

Ce chapitre se concentre sur les différentes phases de création d'un solo sur lequel j'ai commencé à travailler en janvier 2016 et qui est actuellement en cours de finalisation. Après avoir décrit le contexte de création, l'approche adoptée durant la dernière période de travail sera présentée. Le développement de la performance a été réalisé en deux phases. La première a eu lieu dans les studios du CIRM entre janvier et avril 2016. Cette phase de création a été supportée par une financement conjoint du Ministère Italien des Biens et des Activités culturelles et de l'Association Jeunes Artistes Italiens (GAI) dans le cadre de l'appel à projet *Movin'Up* 2015[641]. La période de recherche qui s'est déroulée au CIRM a été consacrée aux développement des systèmes d'interaction ainsi qu'à la composition sonore. Ce travail a été mené en parallèle de la réalisation des systèmes utilisés pour la pièce *You! Fight*. Des principes d'interaction similaires sont pourtant présents tantôt dans le travail avec le compagnie Kokoschka tantôt dans mon solo.

[641] Le concours *Movin'Up* est un dispositif destiné au soutien des activités des jeunes artistes italiens à l'étranger. Tous les six mois un jury sélectionne une dizaine d'artistes sur la base de la collaboration avec une institution étrangère et sur la base de la qualité artistique du projet présenté : http://www.giovaniartisti.it/movinup/vincitori/andrea-giomi Consulté le 22/09/2017.

Les résultats de cette première phase de création ont été présentés à l'occasion de l'édition 2016 du Festival *aCross*, qui a lieu tous les ans à Plaisir[642]. La performance a été jouée également lors du Festival *LMPD,* le 22 octobre 2016 à Sassari[643], et au *NAO Performing Festival*, le 1 décembre 2016 à Milan[644]. La deuxième phase de création a pu se développer grâce à une résidence artistique, dont la première partie a eu lieu entre décembre 2016 et janvier 2017 dans le cadre du programme de résidence *NAO Crea* (Milan, DID Studio - Fabbrica del Vapore)[645]. Dans cette phase de travail j'ai pu me concentrer sur l'interprétation en m'éloignant ainsi d'un modèle de performance simplement démonstratif tout en approfondissant le rapport entre son et composition du geste. Dans le cadre de cette résidence j'ai travaillé avec Piero Ramella, *performeur* de butō[646] et membre lui aussi de Kokoschka Revival. Avec Piero nous avons exploré certains principes d'analyse et de construction du mouvement à partir de la relation avec les technologies interactives. Les résultas de cette deuxième phase de travail ont été présentés en mars dans le cadre du projet *Lucky Larry's Cosmic Commune* de l'artiste et designer Jerszy Seymour, à l'interne de la Biennale Internationale de Design de Saint Etienne[647]. Une deuxième partie de la résidence au DID Studio aura lieu entre octobre et novembre 2017.

L'idée de travailler sur un solo a émergé, vers la fin de 2015, grâce à une rencontre avec Laurence Marthouret, chorégraphe de la compagnie *Trans* qui avait déjà travaillé avec les technologies interactives et

---

642 http://acrossfestival.weebly.com/uploads/5/7/9/1/57912273/d%C3%A9pliantacross16ld.pdf Consulté le 22/09/2017. Ma performance a été présentée, précisément, dans le cadre du colloque international *L'émergence en musique : dialogue de sciences* qui s'est déroulé à l'intérieur du *Festival aCross*.

643 "Le Meraviglie del Possibile" Festival di Teatro Arte e Nuove Tecnologie http://www.kyberteatro.it/spettacoli.asp Consulté le 22/09/2017.

644 http://www.naonuoviautorioggi.net/nao-performing-festival/ Consulté le 22/09/2017.

645 Le programme de résidence "NAO Crea" sélectionne tous les ans, depuis le 2010, quatre projets de dance ou d'art performatif en contribuant à leurs développement à travers la mise à disposition de salles de répétitions et à travers un soutien financier.

646 Le terme de butō comprend diverses techniques et formes de danse contemporaine inspirées par le mouvement *Ankoku-Butō* (« danse ténébreuse ») actif au Japon dans les années 1950.

647 http://www.biennale-design.com/saint-etienne/2017/en/programme/?ev=lucky-larry-s-cosmic-commune-30 Consulté le 22/09/2017.

le son[648]. En octobre 2015 j'avais contacté Laurence pour travailler ensemble sur les systèmes interactifs que j'étais en train de développer. En particulier, je souhaitais évaluer l'*usabilité* des systèmes du point de vue de la danse. Nous nous sommes rencontré régulièrement en novembre 2015 et en janvier 2016. Grâce à ces rencontres, j'ai pu faire les premiers tests sur les applications interactives réalisées en adaptant celles-ci aux suggestions apportées par Laurence. Durant les répétitions, les objectifs principaux étaient de : 1. Vérifier la précision, en termes de qualité de captation du mouvement, des dispositifs employés (Kinect, Hot Hands et Wiimotes); 2. Tester la réactivité des systèmes réalisés, et réfléchir ensemble autour de la relation corps-son. Certaines des indications de Laurence se sont avérées fondamentales pour la concrétisation de ma proposition artistique. Les répétitions étaient organisées avec un premier moment dans lequel je proposais à Laurence mon interprétation gestuelle des systèmes interactifs afin de lui montrer les possibilités d'interaction offertes par une certaine application. Dans ce cadre, elle m'a suggéré la possibilité de m'engager non seulement comme créateur de son mais aussi comme *performeur*. En particulier, elle était intéressée par la manière dont mon approche spontanée à l'interaction reflétait une façon particulière de construire le mouvement à partir de l'écoute. Lors de nos conversations, elle m'a fait noter comment mes mouvements n'étaient pas seulement orientés vers la production sonore mais également vers l'interprétation des qualités sonores. Par cela elle m'a invité à approfondir ce rapport en partant de mon expérience avec l'improvisation électro-acoustique. Bien que la collaboration avec Laurence n'ait pas pu se poursuivre dans les mois successifs, certaines de ces réflexions ont été intégrées dans le travail que j'ai présenté en forme d'étude en mai ainsi que pendant les développements ultérieurs de la performance.

Contrairement aux systèmes interactifs réalisés dans le cadre pédagogique et scénique, les applications mise en place pour cette performance ont été conçues dans le but de développer un contrôle total sur la génération sonore. Cet aspect restera un élément clé même dans les développements successifs de la performance. L'idée était de réaliser une configuration interactive exploitant une gamme dynamique assez large, me permettant de créer tantôt des moments de minimalisme sonore et gestuel tantôt des moments

[648] Elle a collaboré sur plusieurs créations de danse interactive avec la compositrice et chercheuse Anne Sèdes parmi lesquelles *Espaces Sensibles* (2005). https://trans-lm.jimdo.com/biographies/laurence-marthouret-chor%C3%A9graphe/ Consulté le 22/09/2017.

de fort impact en termes d'énergie scénique et de complexité musicale. Cet objectif a été réalisé tout d'abord en reliant les informations acquises par les différents capteurs : en créant une représentation stratifiée du mouvement (ex. position du corps dans l'espace + mouvement des mains), j'ai ainsi pu développer des interactions articulées allant d'une simple relation cause-effet jusqu'à des formes plus complexes impliquant la coordination des différents aspects du mouvement. Grâce au fait d'avoir réalisé l'ensemble du système interactif - de la programmation au design sonore - en pleine autonomie, j'ai pu structurer mon interprétation musicale en partant des connaissances techniques acquises pendant la phase de réalisation. J'ai donc commencé à développer une sorte de composition ouverte créée à partir de nombreuses séances d'improvisation dans les studios du CIRM pendant les mois de février et d'avril. L'un des principaux défis qui a émergé durant cette phase était de trouver un principe d'équilibre entre les formes gestuelles et les structures sonores que je composais. Tout en voulant préserver la nature spontanée de l'improvisation, j'ai donc travaillé sur des principes intuitifs me permettant de créer en temps réel des séquences son-mouvements à partir d'une palette d'actions prédéfinies. De plus, contrairement à une performance musicale conventionnelle, j'ai décidé de donner une certaine importance à la présence et aux déplacements dans l'espace. Au cours des improvisations, l'espace est devenu d'ailleurs un élément de stabilité qui m'a permit de définir la structure formelle du travail.

9.1.2 Étude #1 : description du travail

Dans l'étude présentée lors du Festival *aCROSS*[649], la performance se déroule en suivant un itinéraire prédéterminé. Différents points sont fixés sur scène par le biais de marques faites avec du scotch noir. Ceux-ci fonctionnent à la fois comme indicateurs des différentes zones de captation et comme repères pour mes déplacements dans l'espace. Pendant les répétitions j'ai eu l'idée d'ajouter un principe de construction du mouvement externe à la logique du geste instrumental (c'est-à-dire des gestes exclusivement réservés à la production sonore). En improvisant avec le son j'ai remarqué avoir tendance à travailler sur le niveau bas de l'espace, à savoir celui lié au mouvement des jambes et des hanches. J'ai donc décidé de valoriser cette tendance spontanée en structurant les séquences initiales de l'improvisation à partir d'un mouvement issu

[649] Cf. vidéo "Étude #1 @ aCROSS Festival Plaisir (France)" https://vimeo.com/166529423 (mot de passe : pensée sonore).

du judo. En particulier j'ai travaillé sur une technique de projection appelé *Tsuri-Komi-Goshi*, qui signifie littéralement « pêcher en bas avec l'hanche ». La performance s'articule en quatre modules, dont trois introductifs plus un conclusif. La durée totale est d'une vingtaine de minutes. Dans chacun des trois premiers modules, j'ai commence à improviser en présentant des mouvements inspirés de la technique *Tsuri-Komi-Goshi*. Au cours de l'improvisation je m'éloigne graduellement de cette technique pour interagir avec le son de manière plus libre. Dans chaque module la référence à la technique de judo devient de moins en moins évident pour enfin disparaître à la fine du troisième module. Dans chaque section je présente en outre un type d'interaction différent qui correspond à un travail idoine avec le corps (accélération, mouvements des mains et déplacement dans l'espace). Dans chaque module, une variation libre de la technique de judo est donc élaborée selon un modèle différent d'interaction. Dans le tableau final, le plus orchestral, je reprends tous les niveaux d'interaction précédemment exposés en improvisant de manière assez libre. Étant sur scène comme *performeur* je ne peux pas contrôler la régie du son. Par conséquent, j'ai créé une zone interactive me permettant de changer de configuration de façon automatique : en traversant sur cette zone, qui se situe au fond de la scène, un déclencheur s'active en changeant la configuration d'un module à l'autre[650].

L'itinéraire musical commence par un travail essentiellement rythmique basé sur l'utilisation d'accéléromètres placés sur les chevilles. L'accélération du mouvement de la jambe active un déclencheur qui, à son tour, génère un son. Chaque cheville est associée à un groupe de huit sons. Pour chaque accélération un son, parmi les huit, est sélectionné au hasard par le biais d'un algorithme. Dans ce cas, la technique de judo est utilisée pour enchaîner les mouvements des jambes et ainsi déclencher les premiers sons. Comme l'interaction est basée sur l'accélération des chevilles, la technique de judo est réinterprétée tout en valorisant la distribution de l'énergie physique vers le bas. Le deuxième module se base entièrement sur la gestuelle des mains. Un algorithme de synthèse granulaire est contrôlé par les deux mouvements

[650] Je ne m'attarderai pas sur la description technique des systèmes interactifs puisque les applications employées sont assez similaires à celles présentées dans les chapitres précédentes. Dans les prochaines pages, j'introduirai en détail les systèmes développés pendant la dernière année à partir de la résidence artistique de janvier 2017 qui correspond au début de la deuxième phase de recherche et expérimentation.

rotatoires captés par les Hot Hands. Dans ce cadre certains éléments de la technique de judo sont transposés aux seuls mouvements des membres supérieurs. Par rapport à toutes les autres sections de la performance, je n'ai pas un contrôle totale sur la génération sonore dans cette partie. Chaque rotation des mains génère une variation des paramètres de l'algorithme de synthèse granulaire. Par contre, ces variations n'ont pas un effet immédiat sur la texture sonore. Les modulations gestuelles affectent plutôt l'évolution dans le temps des objets sonores. Ce mécanisme permet d'introduire une marge d'imprévisibilité dans la relation geste-son. Par conséquent, la composition du geste se détache partiellement de la production sonore directe pour s'adresser à l'expression des qualités sonores. Un processus d'altérations continues entre le geste et le son est donc ici à l'œuvre. Dans la troisième section, j'utilise un système interactif qui combine le travail sur la kinesphère avec celui sur l'espace. En particulier, cette configuration me permet d'exploiter trois niveaux d'interaction en même temps. Tout d'abord, l'espace scénique est divisé en quatre zones interactives circulaires qui délimitent l'espace sonore de l'espace silencieux. Tout comme pour le solo d'Ondina-Kasparov dans la pièce *You! Fight*, le son de chaque zone, activé par le présence du corps, peut également être modulé à travers les mouvements des mains, qui modifient en profondeur certains aspects du timbre. Un dernier niveau d'interaction est construit autour de la kinesphère. Trois lignes sur scène marquent la présence de sphères interactives. Chaque sphère contient différents sons qui peuvent être déclenchés en allongeant les membres supérieurs et inférieurs. Une telle structure par niveaux d'interaction me permet de choisir la quantité d'éléments sonores (et gestuels) que je veux enchaîner simultanément ou en succession. Par conséquent, j'ai la possibilité de passer du silence absolu à la génération de grandes masses sonores, ou même d'explorer tous ces niveaux intermédiaires qui résultent de l'union des divers éléments. Dans la dernière partie, je récupère tous les éléments interactifs présentés dans les trois premiers modules en les combinant dans un nouveau paysage sonore. Cette partie, étant moins destinée aux besoins de la démonstration, donne plus de place à la construction musicale, résumant, par une forme plus définie,

l'itinéraire sonore et spatial exploré pendant la performance.

Fig. 22 : *aCROSS Festival,* Plaisir, 10 mai 2016.

La performance se structure à partir de différentes contraintes permettant d'encadrer l'improvisation dans une grille formelle définie. Une première limitation structurelle est représentée par l'itinéraire tracé dans l'espace. Cet itinéraire correspond à des zones ou à des interactions sonores orientant mes déplacements sur scène. Un deuxième niveau est représenté par les mouvements inspirés de la technique du *Tsuri-Komi-Goshi*. Ces mouvements reviennent à plusieurs reprises pendant la performance et constituent la base de l'interaction gestuelle avec le son. Ces mouvements sont affectés et modifiés par les différentes typologies d'interaction sonore. En ce sens l'image interne de ma corporéité, à savoir mon anatomie virtuelle, est modulée tantôt par le schéma sensori-moteur du *Tsuri-Komi-Goshi* tantôt par la hiérarchisation imposée par les différentes typologies interactives. Un autre niveau de variation est représenté par l'intentionnalité

musicale, c'est-à-dire l'intention communicative du geste sonore. Comme on le sait, l'improvisation musicale se base sur l'idée d'une composition instantanée exploitant ou non un répertoire idiomatique de structures gestuelles et/ou sonores (ex. les standards jazz ou les râga indiens)[651]. Dans le cas de ma performance, l'improvisation musicale ne se base pas sur un répertoire spécifique lié à un instrument mais plutôt sur une logique intuitive et fortement spontanée. En particulier, j'essaye de développer un principe de composition instantanée basé sur l'idée d'action et de rétroaction. Le principe est assez simple : un geste génère un son, le son généré affecte la création du prochain geste qui, à son tour, produit un son. Par cela, le son affecte la création du geste sur deux niveaux. Après avoir généré un son, le geste est influencé tantôt par la logique musicale interne propre à la séquence sonore tantôt par la nécessité d'exprimer les qualités sonores par le biais du mouvement. L'évolution d'une certaine séquence de gestes sonores est donc informée par les micro-variations qui émergent autant sous forme d'intentionnalité sonore que d'intentionnalité corporelle. Dans une situation de *flow* les intentionnalités convergent et résonnent l'une dans l'autre. On reviendra à la fin du chapitre sur cette question[652]. Pour l'instant, il m'intéresse de suggérer qu'ici l'écoute, au sens multimodal du terme[653], s'avère être non seulement une forme de réception passive des informations acoustiques mais également un vecteur actif induisant l'émergence de configurations *audiotactiles* complexes et stratifiées.

9.2 Métaphores incarnées : un point de vue holistique sur les processus de création

Après avoir présenté le contexte et le développement de la première phase d'expérimentation, je vais maintenant introduire la deuxième étape de recherche en analysant en détail les différentes parties du processus créatif. Certains principes clés, qui ont émergé dans la première phase, ont été réélaborés et approfondis. Au niveau du travail de codage, j'ai gardé l'idée du contrôle totale sur la génération sonore en

---

[651] Cf. Vincenzo CAPORALETTI, *I processi improvvisativi nella Musica. Un approccio globale*, Lucca, LIM, 2005.

[652] Cf. *infra*, p. 387-391.

[653] Je renvoie à la définition de l'écoute que je proposais en présentant le premier exercice analysé dans le sixième chapitre. cf. *supra*, p. 303.

valorisant aussi l'importance du temps réel. D'ailleurs, j'ai également approfondi le principe de stratification des niveaux d'interaction. Tous ces éléments m'ont aidé à renforcer, dans la pratique, la notion de corps-instrument. Du point de vue de l'interprétation, la logique de la double intentionnalité expressive (corporelle et musicale) a été également valorisée dans l'improvisation. Le travail d'analyse et d'entrainement physique, fait avec Piero Ramella lors de la résidence de création, m'a permit de préciser les principes de co-articulation entre geste et son.

La deuxième phase de travail a été caractérisée par la nécessité d'organiser les stratégies créatives de la première période d'expérimentation selon une méthodologie cohérente et unitaire. Une contribution importante à l'évolution de mon approche créative a été apportée par l'avancement des réflexions théoriques que j'ai conduit dans le cadre de cette thèse. Pourtant, certains éléments clés issus d'une perspective incarnée, comme la question de la multimodalité, le paradigme de l'incorporation ainsi que le principe d'interaction entre action et perception, ont été intégrés dans ma démarche artistique. D'autres éléments théoriques comme la catégorisation fonctionnelle du geste musical aussi bien que la problématique de l'interface comme extension, m'ont également aidé à approfondir l'analyse du processus créatif.

Une telle compréhension théorique m'a permis en outre d'interpréter les relations entre geste, environnement sonore et médiation technologique à partir d'une perspective écologique. Pour cela j'ai commencé à articuler les différents éléments en jeu dans le processus de création à travers des stratégies d'interaction réciproque, tantôt en termes pratiques tantôt en termes conceptuels. D'ailleurs, il convient de noter qu'il ne s'agissait pas de construire la pratique sur la base d'un cadre théorique préalable. La théorie m'a été utile surtout pour éclairer et organiser un certain nombre de stratégies et de méthodes de création qui étaient déjà à l'œuvre dans ma pratique. En ce sens, le rapport théorie-pratique a été développé d'une façon bidirectionnelle et interactive. Dans le cadre d'un tel échange réciproque entre théorie et pratique, j'ai élaboré la notion de « métaphore incarnée ». Avec cette notion je désigne l'utilisation d'une certaine image corporelle comme modèle inspirant, et informant, de l'écriture créative (que ce soit pour l'écriture d'un algorithme ou d'un processus sonore). Dans cette approche, le mouvement du corps n'est pas simplement considéré comme une source de données pour le codage et l'interaction sonore en temps réel. La corporéité est, avant tout, une source de significations et d'images incarnées qui peuvent être intégrées dans le

processus de création. Comme je l'ai montré ailleurs, le processus créatif dans le contexte de la performance musicale interactive peut être divisé en quatre niveaux : le codage, le mapping (au sens strict du terme), la conception sonore et l'interprétation. Par le codage j'entends la conception de l'algorithme, par le mapping le processus permettant la mise en connexion entre l'entrée gestuelle et les paramètres sonores, par la conception sonore la création des objets sonores et des effets audio pour le traitement sonore en temps réel, par l'interprétation je fait référence à l'ensemble des stratégies corporelles utilisées dans la production sonore et dans son représentation expressive. L'approche met l'accent sur l'idée que chaque niveau du processus interactif peut être informé par une image spécifique liée au corps ou au mouvement. En cela l'anatomie du corps n'est pas conçue comme une identité organique mais comme un dispositif cognitif informant la réalisation des différentes phases de création. Une telle approche m'a permis de développer un point de vue holistique et incarné sur l'ensemble du processus créatif.

9.2.1 Configuration technique

La description du processus de création que je vais proposer fait référence à la dernière version de mon solo. Il me semble opportun de souligner que cela ne représente pas encore un stade définitif de ce travail. Par conséquent, mes réflexions portent d'avantage sur la description des principes de composition plutôt que sur l'analyse de la performance. En particulier, je vais présenter l'approche adoptée dans la création de deux modules d'improvisation. Le premier module s'articule comme une étude sur la nature vectorielle du geste. Le deuxième est un travail sur la sensation d'effort en relation au contrôle du mouvement. Lors de ce travail de création, deux technologies de captation ont été employées : les dispositifs Hot Hands et les bracelets MYO Armband. Comme on l'a vu dans les chapitres précédents, les Hot hands sont une interface MIDI permettant un contrôle continu des paramètres musicaux. Ce dispositif à forme de bague exploite un accéléromètre triaxial (x,y,z) pour mesurer l'inclinaison autour des trois axes de rotation (roulis, tangage et lacet[654]). Les rotations ont 180 degrés de liberté. Ces trois valeurs permettent de calculer les mouvements de rotation de la main. Le MYO se compose de huit capteurs électromyographiques (EMG), mesurant la tension

[654] Normalement on utilise les expressions anglaises équivalentes, à savoir *roll* (x), *pitch* (y) et *yaw* (z).

musculaire, ainsi que d'une unité de mesure inertielle (IMU[655]) avec un gyroscope 3D, un accéléromètre 3D et un magnétomètre. La gamme des capteurs de l'IMU permet donc de mesurer l'accélération, la vitesse de rotation et l'orientation par rapport au champ magnétique terrestre. L'EMG (Electromyographie) est, comme on l'a vu, une technique de captation de signaux physiologiques, normalement utilisée dans le domaine médical, permettant l'enregistrement de l'activité électrique des muscles squelettiques. Il convient de rappeler que les capteurs EMG ne détectent pas la contraction mécanique du muscle mais son activité électrique. En d'autres termes, l'EMG transmet des informations sur l'activité des moto-neurones qui activent le muscle en nous informant ainsi de l'intention délibérée d'exécuter un geste. Par conséquent, l'EMG capte quelque chose qui se situe avant l'activité mécanique musculaire visible.

Le processus numérique d'élaboration et de traitement des informations est partagé sur trois logiciels exécutant chacun une fonction différente. Les données brutes en entrée sont envoyées à l'environnement de programmation MaxMsp 7 où elles sont codées. Les Hot Hands sont détectés par le logiciel comme un périphérique MIDI standard (à l'instar d'un clavier MIDI). Pourtant, les données sont directement reçues au format MIDI. Afin d'obtenir des données du MYO j'ai utilisé un patch "libre" [*freeware*] développé par Jules François[656]. Les descripteurs de mouvements créés en Max, sont envoyés au logiciel OSCulator via un protocole UDP standard. OSCulator permet à la fois de convertir et d'indexer les valeurs en entrée selon le format MIDI (pour chaque descripteur de mouvement, un canal et une valeur MIDI sont attribués). Enfin, les valeurs MIDI sont envoyées à une *DAW* (*Digital Audio Workstation*), qui héberge plusieurs unités de

---

[655] Les unités de mesure inertielle (IMU) sont des appareils portables bon marché intégrant des accéléromètres et des gyroscopes. Lorsque ces appareils sont couplés avec des magnétomètres, les IMU sont également connus sous le nom de capteurs magnétiques, angulaires et de gravité (MARG). Ils sont largement utilisés dans l'aviation, la robotique et l'interaction homme-machine (HCI). Leur accessibilité croissante et leur taille réduite en font une élément très commun des appareils mobiles et portables et d'autres produits électroniques grand public. Ils permettent d'estimer diverses fonctions de mouvement, y compris l'orientation tridimensionnelle optimisée obtenue en combinant les données des différents types de capteurs. Ces dispositifs sont souvent commercialisés sous forme de capteurs *9DoF* (9 degrés de liberté), car ils sont constitués de trois capteurs triaxiaux et ont donc un total de neuf axes sensibles.

[656] https://www.julesfrancoise.com/software/ Consulté le 24/09/2017.

traitement audio. Comme DAW j'ai utilisé le logiciel Ableton Live 9. Le design sonore est réalisé en exploitant des effets audio internes à Ableton Live, des *plug-in* externes et des patches de Max4Live originaux. L'ensemble des ces logiciels permet d'accomplir le travail de codage, de mapping et de design sonore.

9.3 Codage

À la différence du processus de création réalisé pour la pièce *You! Fight*, dans ce cas une stratégie *bottom-up* a été ici adoptée. Contrairement au modèle descendant (*top-down*), la conception *bottom-up* présente une architecture ascendante, dans laquelle les parties individuelles du système sont spécifiées en détail, ensuite connectées pour former des composants plus importants, et enfin interconnectés au sein d'un système plus complexe. De la même manière, dans mon travail de création le point de départ est l'analyse et l'interprétation des éléments minimaux du système interactif. Les différentes parties du processus de création sont les niveaux intermédiaires, tandis que le geste sonore, c'est-à-dire la co-articulation entre son et apparat sensori-moteur, représente le système à haut niveau. Les métaphores incarnées interviennent directement sur les structures minimales (et donc à bas niveau) afin d'en spécifier les détails. Considérons d'abord comment différentes métaphores incarnées peuvent être utilisées afin de développer autant de descripteurs de mouvement sur la base d'une même donnée d'entrée. L'idée est qu'une caractéristique ou une image spécifique du corps informe la stratégie de codage.

9.3.1 Mise en échelle "incarnée" des descripteurs d'inclinaison

Afin d'introduire cette méthode je vais présenter le travail de codage avec les dispositifs Hot Hands. Étant donné leur design, les Hot Hands sont spécialement conçus pour mesurer les mouvements des doigts. Par conséquent, la plage des valeurs du capteur correspond au degré maximal de liberté des doigts : 0°-180° (degré de liberté du doigt) = 0-127 (échelle des valeurs standard dans le protocole MIDI). Du point de vue de ma recherche artistique, j'étais intéressé à adapter le dispositif au mouvement d'autres parties du corps. Dans ce but, j'ai modelé l'échelle de valeur issue des Hot Hands sur la base de différentes image du corps. Chaque mise à l'échelle est donc conçue sur la base du degré de liberté des mouvements du corps auxquels je suis intéressé. Dans le premier module de mon solo je travaille actuellement sur trois descripteurs

développés à partir de cette idée de mise à échelle. Le premier descripteur garde l'échelle standard relative au mouvement de la main. Le deuxième est calculé en partant du degré de liberté du genou. En particulier, j'ai adapté la plage d'interaction aux mouvements d'inclinaison sur l'axe vertical (0^{o}-70^{o} = 0-127). Le troisième descripteur se base sur le mouvement de la colonne vertébrale. La plage d'interaction a été ainsi ainsi modelée : 0^{o}-60^{o} = 0-127. Grâce à cette méthode, un même paramètre d'interaction sonore (imaginons par exemple une modulation de fréquence de 0 à 100 Hz) peut être contrôlé par des mouvements présentant une articulation différente. La plage d'interaction du capteur est, pourtant, adaptée aux contraintes anatomiques aussi bien qu'aux finalités expressives de ma recherche. De cette manière, le codage est développé selon une conception incarnée dans laquelle l'architecture de l'algorithme reflète une certaine image corporelle (mouvement des doigts, du genou, de la colonne vertébrale). Chacune de ces proportions est obtenue empiriquement en testant avec le son la fiabilité de l'*output*. En d'autres termes, l'efficacité du codage est mesurée en évaluant d'une part la qualité de la réponse sonore et de l'autre l'intelligibilité de l'interaction par mes mouvements. Cette méthode d'évaluation « par performance » s'est avérée utile non seulement pour tester l'ergonomie de l'interaction mais aussi pour en incorporer le fonctionnement.

9.3.2 Traitement fonctionnel des signaux physiologiques

Une méthode similaire est implémentée dans le traitement des signaux EMG. Le flux des signaux EMG du MYO Armband est subdivisé en huit canaux correspondant aux huit capteurs. Chaque canal enregistre une oscillation brute, dont la fréquence d'échantillonnage est de 200 Hz, qui change en amplitude en fonction de l'activité musculaire. Étant des signaux électriques, les EMG présentent une morphologie ondulatoire, et non linéaire, caractérisée par des variations impulsives. D'autre part, d'un point de vue proprioceptif, la tension est normalement ressentie par le sujet comme un état d'effort continu. Afin donc de rapprocher la représentation numérique des signaux EMG à la sensation interne d'effort, j'ai modelé les informations de manière à obtenir une représentation continue de la contraction musculaire. D'abord les huit signaux ont été analysés de manière empirique en observant les variations d'amplitude. La réponse individuelle du canal change en fonction du groupe de muscles impliqué dans la contraction. D'ailleurs, afin d'obtenir un descripteur global de l'effort musculaire, il était plus utile de mesurer la moyenne de

l'amplitude des signaux. J'ai donc regroupé les signaux en deux classes de quatre signaux chacune : la première relative aux contractions des muscles de la main, la deuxième relative aux muscles de l'avant-bras et du biceps (Groupe A et Groupe B). La moyenne des valeurs de chaque groupe de signaux a été calculé en employant l'objet `zl median` qui présente l'avantage de calculer des listes de données dont les valeurs changent en temps réel. Les valeurs sortantes sont ensuite "raffinées" avec l'objet `smoother` qui permet de stabiliser le flux de données en éliminant certaines composantes chaotiques. Les données sont ultérieurement filtrées en supprimant les valeurs résiduelles en dessous d'un certain seuil. Afin de transformer le signal résultant d'une forme ondulatoire en un paramètre continu, un objet spécifique a été créé. Grâce à cet objet, que j'ai appelé `flux stabilizer`, le signal est ré-échantillonné en temps réel en enregistrant les pics d'activité musculaire. Une fois détectés, les différents pics d'amplitude sont interpolés en créant ainsi une variation continue des des valeurs[657]. L'algorithme stabilise le flux de données jusqu'au moment où une diminution significative de l'énergie musculaire, correspondant à la relaxation volontaire du muscle, est détectée.

Dans ce cadre une autre problématique perceptive a émergée. Du point de vue de la morphologie du signal électrique, la décontraction du muscle est contrôlée par une décharge électrique assez soudaine. Par contre, au niveau proprioceptif, la sensation de relaxation est ressentie comme un phénomène de diminution graduelle de l'énergie. J'ai décidé de reconstruire arbitrairement la courbe numérique correspondant à la décontraction du muscle. Dans ce but un objet appelé `relax` a été créé. L'algorithme implémenté exploite un système de seuils ainsi qu'une fonction d'interpolation temporelle : en bref, lorsque l'amplitude du signal décroît en dessous d'une certaine valeur, une diminution automatique du paramètre est activée. Le temps d'interpolation a été fixé autour de ± 1750 ms. La plage de variabilité de l'interpolation est de 500 ms. Cette variation temporelle est calculée de manière proportionnelle en relation à l'amplitude du signal EMG avec la proportion suivante : x : 10 = 10 : 500. Le numéro 10 représente le

[657] En mathématique, et en particulier en analyse numérique, l'interpolation est une méthode pour localiser de nouveaux points dans le plan cartésien à partir d'un ensemble fini de points de données. Nous parlons d'interpolation lorsque nous connaissons certains couples de données (x, y), interprétables en tant que points d'un plan, et souhaitons construire une fonction, appelée fonction d'interpolation, capable de décrire la relation entre l'ensemble des valeurs x et l'ensemble des valeurs y.

maximum d'amplitude. Pourtant si nous avons une intensité de 7.5 le temps d'interpolation sera de 1500 ms+375 ms (500*7.5/10). Concrètement, le temps de relaxation est ainsi directement proportionnel à l'intensité de la contraction. Même dans ce cas, les seuils d'impédance sont établis par le biais de l'évaluation empirique : tantôt le seuil de décontraction tantôt le temps d'interpolation sont testés en évaluant la cohérence multimodale entre le *feedback* sonore et la sensation proprioceptive de relaxation musculaire. L'estimation de la qualité de la réponse sonore a été effectuée en testant le dispositif MYO sur le biceps aussi bien que sur l'avant-bras. Finalement, j'ai décidé d'utiliser le dispositif sur l'avant-bras car le positionnement des capteurs sur le biceps ne permet pas d'apprécier la contraction des muscles de la main.

Comme je le suggérais, l'ensemble des signaux EMG est subdivisé en deux groupes (Groupe A et Groupe B) réagissant principalement aux tensions musculaires de la main et de l'avant-bras. Les deux groupes répondent assez bien aux contractions du biceps. Afin de préciser ultérieurement la connexion entre implication musculaire, sensation d'effort et réponse des EMG, j'ai adapté la sensibilité de la plage d'interaction selon différents modèles d'effort musculaire. Chaque modèle d'interaction est informé par une métaphore incarnée différente. Cinq typologies de traitement des données ont été ainsi établies : 1. Effort de l'avant-bras; 2. Effort de la main; 3. Effort du bras entier; 4. Effort-flux; 5. Effort impulsif. Chaque métaphore renvoie à une modalité différente d'implication de l'effort musculaire. En ce qui concerne le premier modèle, j'ai utilisé le Groupe B de signaux EMG sans changer la plage d'interaction standard. Pour le modèle "effort de la main", j'ai utilisé Groupe A de signaux EMG et j'ai fait une mise à échelle de la plage d'interaction en augmentant la sensibilité aux contractions minimales. Une méthode similaire à celle utilisée pour l'inclinaison des Hot Hands a été employée. Ces deux modèles peuvent être sélectionnés alternativement. De cette manière un même paramètre sonore peut être contrôlé soit avec des tensions minimales de la main soit avec la contraction de tout l'avant-bras. Le modèle 3 se base sur la métaphore d'une implication complète du membre supérieur. Ce modèle est construit en sommant les deux groupes de signaux EMG et en élargissant la plage d'interaction. Ce modèle demande également la contraction du biceps afin de produire une modulation appréciable. Le modèle 3 peut être utilisé comme modèle alternatif aux deux premiers ou il peut être ajouté comme une valeur d'interaction supplémentaire aux modèles 1 et 2. Dans ce dernier cas, le modèle 3 s'active dès que la contraction de la main (modèle 2) ou de l'avant-bras

(modèle 1) sont à leur maximum. Les trois premiers modèles permettent pourtant une modulation continue d'un paramètre avec un niveau d'engagement physique différent. À la différence des trois premiers modèles, le modèle 4 ne se base par sur une articulation spécifique des muscles. Il peut être considéré comme un filtre supplémentaire à ajouter à un des trois premiers modèle. Le codage de ce modèle a été inspiré par l'observation empirique. Lorsque nous contractons le muscle au maximum de l'effort, la tension produite génère des micro-vibrations visibles sous forme de tremblement de tout le membre supérieur. Cette image a été donc utilisée pour définir un modèle de réponse du signal non-linéaire mais vibratoire. À ce propos, j'ai pris la variation d'amplitude interne aux signaux EMG et je l'ai utilisée pour moduler le flux de données. Cette vibration interne peut être considérée comme une forme intéressante d'un point de vue artistique. Au lieu d'avoir une variation continue d'un paramètre nous avons une modulation ondulatoire dont l'amplitude change en fonction de l'effort exercé. En termes sonores, elle peut être utilisée, par exemple, comme une sorte de signal LFO dont on peut contrôler la fréquence d'oscillation. Ce modèle peut être appliqué aux autres modèles même si le codage standard est réglé sur la base du modèle 1. Le modèle 5 s'inspire de la métaphore du geste impulsif. Tout geste impulsif et soudain demande un certain niveau d'effort musculaire. De plus, comme j'ai pu l'analyser avec Piero Ramella lors de ma résidence artistique, la précision et la stabilité du geste impulsif sont directement proportionnels à l'effort exercé. Dans ce cadre l'effort n'est pas perçu comme une variation graduelle de tension mais plutôt comme une accélération soudaine avec une relaxation immédiate. En m'inspirant de cette image, j'ai donc développé un modèle se basant sur la détection d'un pic d'amplitude. L'enregistrement de ce pic produit une information discrète. Ce mécanisme permet de contrôler un événement impulsif avec un geste d'effort soudain. Le codage réalisé est tout à fait similaire à celui utilisé par la détection du choc produit avec les accéléromètres : lorsque l'activité musculaire dépasse un certain seuil, un *trigger* est déclenché. Ce *trigger* peut être associé, par exemple, à une note musicale. Ce modèle est alternatif aux autres. Cependant il peut être utilisé en combinaison avec un des deux premiers modèles afin d'obtenir une représentation plus fine du geste d'effort : par exemple si l'information issue du modèle 5 peut être utilisée pour déclencher une note, la valeur produite par le modèle 1 ou 2 peut être employée pour en déterminer la dynamique. Évidement dans le cas du modèle 2, cette variation dynamique sera plus sensible. Chaque modèle peut être sélectionné avant même tout processus de mapping par le biais d'un patch de contrôle. Cela peut être considéré comme un filtre, ou une

grille sensorielle que nous appliquons à l'effort en entrée.

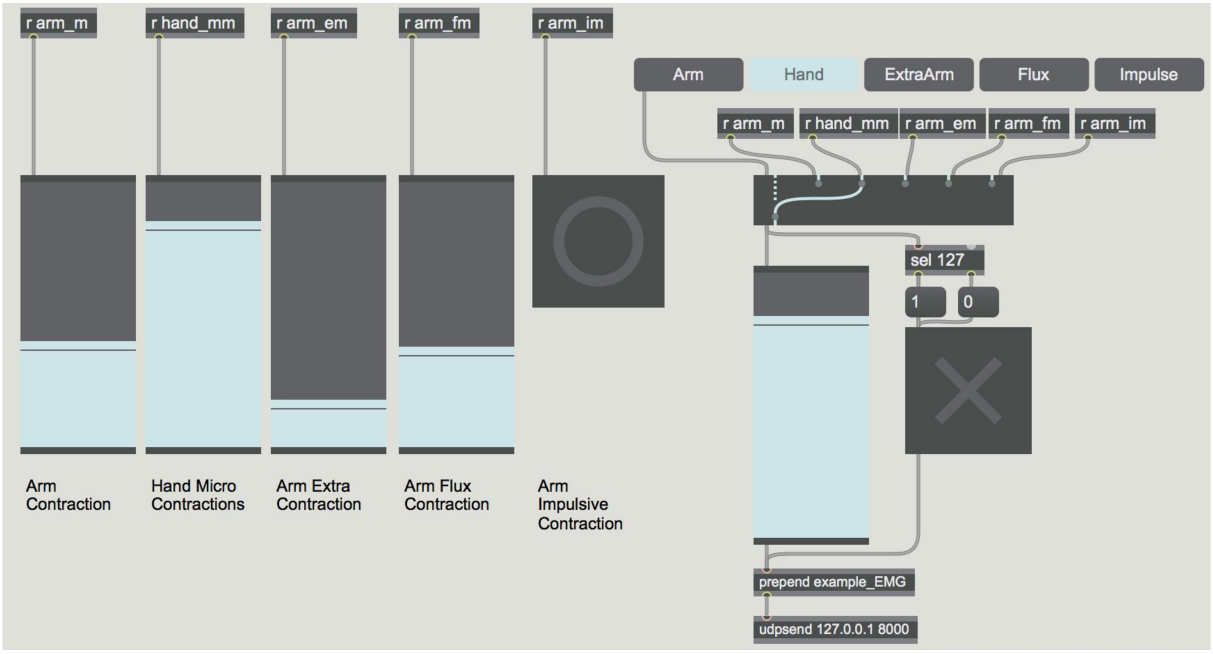


Fig. 24 : Interface graphique de contrôle pour la selection des différents modèles d'interaction musculaire

9.3.3 Configurer la qualité du geste : effort, orientation et accélération

Avant de passer à l'analyse du mapping, je vais m'attarder brièvement sur une troisième typologie de codage que j'ai implémenté dans le cadre de mon dernier solo. Comme je l'ai précisé ailleurs, la dernière version du travail se concentre sur deux modules se basant sur un travail différent avec le corps. Le premier implique un travail sur la différentiation de la sensation d'effort en exploitant principalement les modèles de codage que je viens de présenter. Le deuxième module se base plutôt sur l'articulation rythmique du geste. Dans une première phase de travail je me suis concentré sur les membres supérieurs. Ce travail exploite les capteurs EMG aussi bien que les capteurs de l'unité IMU présents dans le MYO Armband. En particulier l'accéléromètre ainsi que le gyroscope ont été employés. L'ensemble des informations détectées par ces capteurs m'a permis d'élaborer une représentation du geste qui se base sur un certain nombre de qualités : la position de la main par rapport au corps, l'impulsivité du mouvement, la tension exercée et la direction du geste. Ces quatre qualités définissent autant d'images à partir desquelles il devient possible de déterminer

des stratégies de codage spécifiques. De plus, la combinaison de ces qualités de base donne lieu à un répertoire de gestes expressifs qui peuvent être utilisés comme unités élémentaires du processus interactif[658].

En ce qui concerne, la reconnaissance des positions des mains par rapport au reste du corps j'ai utilisé une méthode similaire à celle employée dans le travail *You! Fitght* : six régions de captation sont déterminées en calculant la distance du bras à un certain point fixe. Ici, par contre, je n'ai pas utilisé les données issues de la caméra Kinect mais celles dérivant des valeurs des accéléromètres[659]. Ici la kinesphère agit en tant que métaphore. Les points interactifs sont positionnés aux limites de ma kinesphère en demandant ainsi une extension complète des membres supérieurs pour être activés.

Un autre niveau de travail sur le geste a été articulé en combinant l'accélération, la direction et la tension du mouvement. Une première métaphore employée est liée à la temporalité impliquée dans l'exécution du geste. En ce sens les gestes peuvent être polarisés en des gestes soudains et des gestes soutenus[660]. L'utilisation des accéléromètres aide à détecter cette polarité : à travers un système de seuils il possible de capter les chocs produits par l'accélération. Cette méthode assez simple permet de différencier les gestes soutenus (ne présentant pas une accélération remarquable) et les gestes soudains (impliquant une accélération significative). Nous avons ainsi deux classes de gestes élémentaires.

D'après cette première catégorisation, j'ai travaillé sur la direction en considérant qu'un geste dans une certaine direction présente une fonction spécifique en termes d'organisation perceptive du mouvement. La métaphore employée est ici celle du geste-vecteur. À ce propos, je me suis attardé sur l'analyse empirique des données issues du gyroscope. Le capteur mesure l'orientation angulaire lorsqu'il est soumis a un mouvement. Son degré de liberté est de 360º. De plus, les rotations en sens horaire produisent des valeurs positives tandis que les rotations sens anti-horaire produisent des valeurs négatives. En partant de la métaphore du geste-vecteur, le premier pas a été d'extraire la direction du mouvement à partir de l'axe de

---

[658] Cette stratégie reflète dans une certaine mesure la conception du geste expressif élaborée par Antonio Camurri, et dont j'ai déjà parlé. D'autre part, mon travail se différencie de celle-ci puisque différemment de la conception du geste expressif élaborée par l'équipe de l'InfoMus Lab, nous ne somme pas intéressé à analyser la relation quantitative entre geste et état émotif.

[659] Dans ce cas l'accéléromètre n'est pas utilisé pour détecter un choc mais pour mesurer l'angle d'inclinaison.

[660] Je fait référence ici à la terminologie employée par Rudolf Laban. Cf. Rudolf LABAN et F.C. LAWRENCE, *op. cit.*

rotation. Les données relatives aux trois axes (x, y, z) ont été ainsi divisées en prenant en compte l'axe aussi bien que le sens de rotation. Six valeurs ont été ainsi obtenues : x_1 et x_2, correspondant aux gestes rotatoires vers l'intérieur et vers l'extérieur sur l'axe horizontal; y_1 et y_2, correspondant aux gestes vers le haut et vers le bas; z_1 et z_2, correspondant aux gestes rotatoires vers l'intérieur et vers l'extérieur sur l'axe sagittal. Étant donnée l'anatomie du corps humain, toutes ces valeurs sont impliquées, au moins partiellement, lorsqu'on exécute un geste. Par conséquent, un système d'analyse de l'entrée visant à reconnaître la direction principale impliquée dans le mouvement a été réalisé. L'ensemble des six paramètres précédemment codés sont d'abord analysés afin d'extraire la valeur la plus haute avec l'objet `maximum`. Dès que cette valeur rejoint un seuil empiriquement établi, un *trigger* est généré[661]. Le seuil est fixé de manière à réagir seulement dans le cas d'une rotation significative. Cela permet de ne pas prendre en considération toutes les fluctuations des valeurs ainsi que les petits mouvements involontaires.

Grâce à cette stratégie de codage, six classes de gestes-vecteurs sont détectées[662] : a. Gestes de rotation intérieure de l'avant-bras (x_1); b. Gestes de rotation extérieure de l'avant-bras (x_2); c. Gestes de rotation vers le haut ou d'adduction (y_1); d. Gestes de rotation vers le bas ou d'abduction (y_2); e. Gestes de rotation vers l'intérieur ou de flexion (z_1); f. Gestes de rotation vers l'extérieur ou d'extension (z_2). Afin de préciser ultérieurement la qualité du geste exécuté, je décidé de combiner ces classes de gestes avec la polarisation temporelle "gestes soudains/gestes soutenus". Du point de vue du codage, ce modèle qualitatif a été implémenté en utilisant la direction de la rotation pour gérer un système d'interrupteurs. La détection du "choc" provoqué par l'accélération génère un *trigger* qui est ensuite envoyé au systèmes de six d'interrupteurs correspondant aux six directions de rotation. La détection de la direction active un certain interrupteur qui à son tour déclenche un numéro qui lui est associé. En ajoutant la variable de l'accélération, les gestes sont catégorisés non seulement en fonction de leur direction de rotation (leur vecteur) mais aussi en fonction de la qualité soudaine ou soutenue. Douze classes peuvent ainsi être déterminées. Dans le cadre de ma performance, comme le travail gestuel est principalement rythmique, j'utilise seulement les gestes impliquant une accélération significative (six classes). L'accélération est pourtant utilisée pour filtrer les

[661] Dans ces l'objet `past` a été utilisé. Cet objet permet de créer une mémoire interne au système en détectant toutes les fois qu'un flux de données rejoint une certaine valeur.

[662] L'avant-bras est pris comme point de référence principal.

gestes de rotations. Cela me permet d'avoir des gestes sonores (accélérés et soudains) et des gestes non-sonores (non-accélérés et progressifs). Une autre variable qualitative a été ajoutée en utilisant également les paramètres issus des modèles d'effort qu'on a décrit précédemment. Ceux-ci peuvent être utilisés par exemple pour contrôler la dynamique d'un son généré par le biais de l'accélération orientée. Cela permet de différencier ultérieurement la gamme expressive du geste sonore.

9.4 Mapping multimodal : refléter la co-articulation du système sensori-moteur

Le mapping est probablement le cœur du processus interactif. D'un point de vue écologique, l'adoption d'une stratégie de mapping efficace est essentielle à l'expressivité de l'interaction. Le processus de mapping détermine en fait la relation perceptible entre le geste et le son. D'ailleurs, le mapping a reçu un intérêt académique croissant et son importance dans le développement des instruments numériques aussi bien que dans la conception de systèmes interactifs a été prouvée. De plus, plusieurs approches ont été adoptées au cours des années en démontrant son importance dans le processus de composition. Comme je l'ai montré lors du quatrième chapitre, les procédures de mapping sont généralement regroupées selon deux stratégies principales : mapping implicite et mapping explicite. En général, les méthodes implicites permettent au concepteur de bénéficier des capacités d'auto-organisation du modèle. D'autre part, les stratégies explicites présentent l'avantage de permettre au designer d'évaluer empiriquement la conception de chacun des composants du système, ce qui permet de comprendre l'efficacité des choix effectués selon le contexte d'application. Au sein de ma démarche artistique cette deuxième approche est adoptée. Selon une perspective écologique, cette méthode est préférée puisqu'elle permet d'intervenir dans le détail de l'interaction en évaluant la fonctionnalité d'une certaine articulation geste-son par rapport à l'économie globale des différentes parties du système.

Tout comme pour le codage, même pour le mapping j'ai essayé d'intégrer des métaphores incarnées dans le processus créatif. Dans ce cas, la source d'inspiration principale utilisée est la notion de multimodalité, concept que j'ai amplement discuté dans le cadre de cette thèse. Trois aspects en particulier ont été pris comme inspiration afin de préciser d'une manière écologique les processus de mapping : la

complémentarité des informations sensorielles, l'importance de la multimodalité dans le contrôle du mouvement et la hiérarchisation du système sensoriel. Ces trois concepts m'ont aidé à définir autant de stratégies pratiques de mise en connexion entre geste et son. Ainsi, par exemple, la complémentarité des informations sensorielles se traduit par la complémentarité bidirectionnelle de l'interaction, le contrôle multimodal du mouvement est utilisé comme modèle inspirant le contrôle multimodal du son et, enfin, l'idée de la hiérarchisation du système sensoriel est directement appliquée dans la hiérarchisation des niveaux de mapping.

1. Comme on l'a vu dans le premier chapitre, une des caractéristiques les plus importantes des processus d'intégration multimodaux est la complémentarité entre les différents stimuli sensoriels. Les neurones de diverses aires cérébrales (comme par exemple les neurones du collicolus supérieur) sont en mesure de traiter des stimuli unimodaux aussi bien que des informations multimodales complexes. Dans ce second cas, les différentes couches sensorielles interagissent en provoquant une amélioration de la réponse motrice. En m'inspirant de cette caractéristique de notre système sensoriel et cognitif, le mapping utilisé dans le processus de création se développe à partir d'une complémentarité bidirectionnelle de différents niveaux d'interaction geste-son[663]. Ce principe repose le fait que les composants internes du système sont à la fois autonomes et interdépendants. D'une part, chaque mode d'interaction doit être suffisamment robuste pour accomplir une articulation efficace entre geste-son. De l'autre, dans une situation de complémentarité, chaque mode d'interaction peut étendre sa gamme expressive en interagissant avec un autre mode d'interaction. Comme je l'ai montré précédemment tantôt les modulations issues de la contraction musculaire tantôt les gestes-vecteurs représentent des modes d'interaction autonomes qui peuvent articuler une relation geste-son. En même temps, dans une situation complémentaire les deux peuvent interagir en s'affectant l'un l'autre. Par exemple, la contraction musculaire peut agir sur la dynamique du son généré par l'accélération orientée du geste. Les deux modes sont ainsi impliqués dans le même processus de génération sonore.

2. La métaphore du contrôle multimodal s'inspire du contrôle multimodal du mouvement. Comme on l'a vu dans les chapitres précédents, des fonctions fondamentales de la physiologie humaine comme

[663] Le terme "complémentarité bidirectionnelle" s'inspire de la définition de mapping proposée par Atau Tanaka : cf. *supra*, p. 179.

l'adaptation posturale, aussi bien que des actions plus complexes comme attraper un objet en mouvement, exploitent l'interaction synergique d'une variété de systèmes sensoriels comme le système vestibulaire, les muscles gravitationnels, la vision, etc. De la même manière, un aspect central des stratégies de mapping adoptées est l'interaction entre captation du mouvement et analyse des bio-signaux. Comme on l'a vu, ces deux typologies de données renvoient à deux modalités différentes d'organisation du mouvement : l'analyse électromyographique mesure l'activité isométrique du corps (tension sans mouvement effective des membres) tandis que les informations issues de la captation du mouvement détectent plutôt l'activité isotonique (mouvement sans tension). Une configuration du mapping basée sur le principe de contrôle multimodal, permet donc de sonoriser deux modalités perceptives diverses mais profondément entrelacées (sensation de mouvement et sensation d'effort musculaire). Concrètement, si, par exemple, les signaux EMG peuvent être utilisés pour créer un flux sonore par le biais de la contraction du muscle, la modification de la position de l'avant-bras peut être employée pour moduler les paramètres internes du son ainsi généré. Cette articulation du mapping a une conséquence importante en termes d'organisation perceptive du mouvement : si la détection physiologique du geste permet la saisie d'informations sur l'intention du mouvement, la saisie de la position informe sur l'articulation du mouvement dans l'espace. Le *feedback* sonore résultant est pourtant structuré sur deux modalités différentes (et complémentaires) de l'organisation perceptive du mouvement.

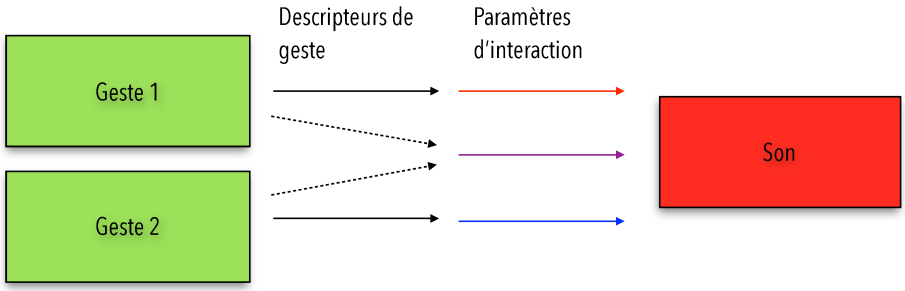
3. La troisième métaphore intégrée dans le mapping est la structure hiérarchique du système sensoriel. Comme on l'a vu dans la première partie de la thèse, l'organisation perceptive du mouvement, par exemple dans le cas du geste musical, se base sur l'articulation fonctionnelle de différents composants sensori-moteurs. L'implication corporelle du musicien dans l'exécution musicale reflète donc une hiérarchisation des fonctions anatomiques orientées vers un but : dans les gestes de production sonore on a une implication majeure du canal visuel, haptique et acoustique tandis dans le geste facilitant la sensation proprioceptive d'effort, la coordination posturale et la respiration revêtent une importance capitale. De même, l'architecture du mapping adoptée dans mon processus de création se base sur l'idée d'une stratification ainsi que d'une hiérarchisation des articulations geste-son. Un aspect central est la combinaison entre le mapping de type divergent (un paramètre gestuel interagit avec plusieurs paramètres sonores) et le mapping de type convergent (plusieurs paramètres gestuels interagissent avec un seul son). Cela permet d'accomplir une

rapport plus holistique entre l'articulation du mouvement et la transformation de la matière sonore. Un autre élément important est la hiérarchisation des fonctions et la co-articulation interne des paramètres d'interaction. Il s'agit de construire la relation geste-son en déterminant un flux d'interaction directe et macroscopique et des variables internes, indirectes et micro-structurelles. Un exemple pratique consiste à définir quelles actions corporelles ou quels gestes interviennent sur la génération du son et quels aspects du mouvements modifient la structure interne du timbre, du rythme etc. . De plus, un aspect caractéristique de ma procédure de mapping est l'utilisation structurelle de canaux auxiliaires d'envoi / retour[664]. Cette technique me permet de prélever une partie du signal et de l'envoyer à plusieurs unités de traitement contrôlées par différentes parties du mouvements. N'agissant pas sur le signal direct, les auxiliaires permettent de créer des couches sonores supplémentaires qui sont perçues comme éléments dérivés du son principal. Cette architecture stratifiée et hiérarchisée du mapping permet de modifier la même texture sonore en partant de plusieurs modalités d'interaction selon les différentes parties du corps ou les diverses qualités du mouvement impliquées dans l'action. En différentiant l'importance fonctionnelle des différents paramètres d'interaction il est alors possible de créer un système qui ne reflète pas seulement une certaine conception sonore mais qui renvoie également à une organisation anatomique spécifique.

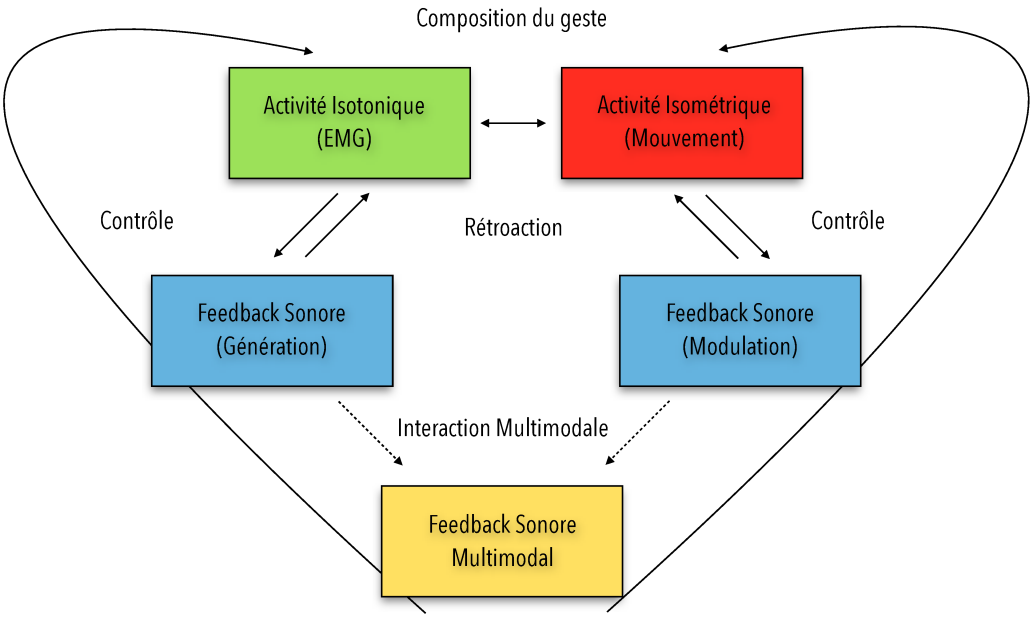
[664] Les canaux auxiliaires permettent d'envoyer un son vers des unités de traitement sonore. Sur une table de mixage, quelle soit analogique ou numérique, le potentiomètre d'envoi contrôle le niveau du son envoyé à l'unité d'effets. Le potentiomètre de retour contrôle le niveau du son revenant de l'unité d'effets. Lorsque le son est dirigé vers l'envoi d'effet après le fader d'entrée (*postfader*), si le fader est coupé, le son l'est aussi. Sinon (*prefader*), le son d'entrée est toujours envoyé au bus d'envoi d'effet.

Schéma 11 - Mapping et métaphores incarnées

Complémentarité Bidirectionnelle



Contrôle Multimodal



9.4.1 Exemple de configuration du mapping

Afin d'entrer plus en détail dans la conception du mapping, je vais présenter la configuration employée dans le première module de la version actuelle de ma performance. Une telle description nous permet d'aborder également la question de la conception sonore. Dans cette performance, trois MYO Armbands et deux Hot Hands sont utilisés. Les deux MYO sont placés sur les avant-bras pour en capter les contractions tandis que le troisième est utilisé pour détecter l'activité musculaire de la jambe gauche. Le modèle de codage des signaux EMG 1 et 2 ont été utilisés : pour les Armbands placés sur les avant-bras j'ai utilisé le modèle exploitant la contraction musculaire de la main (modèle 2) afin d'avoir un contrôle fin sur le son tandis que pour celui placé sur le triceps j'ai employé le modèle de l'avant-bras (modèle 1). Les Hot Hands sont placés sur le genou droit et sur la poitrine afin de mesurer les rotations verticales et longitudinales de la jambe droite et de la colonne vertébrale. Les modèles de mise à l'échelle précédemment décrits ont été employés à ce propos.

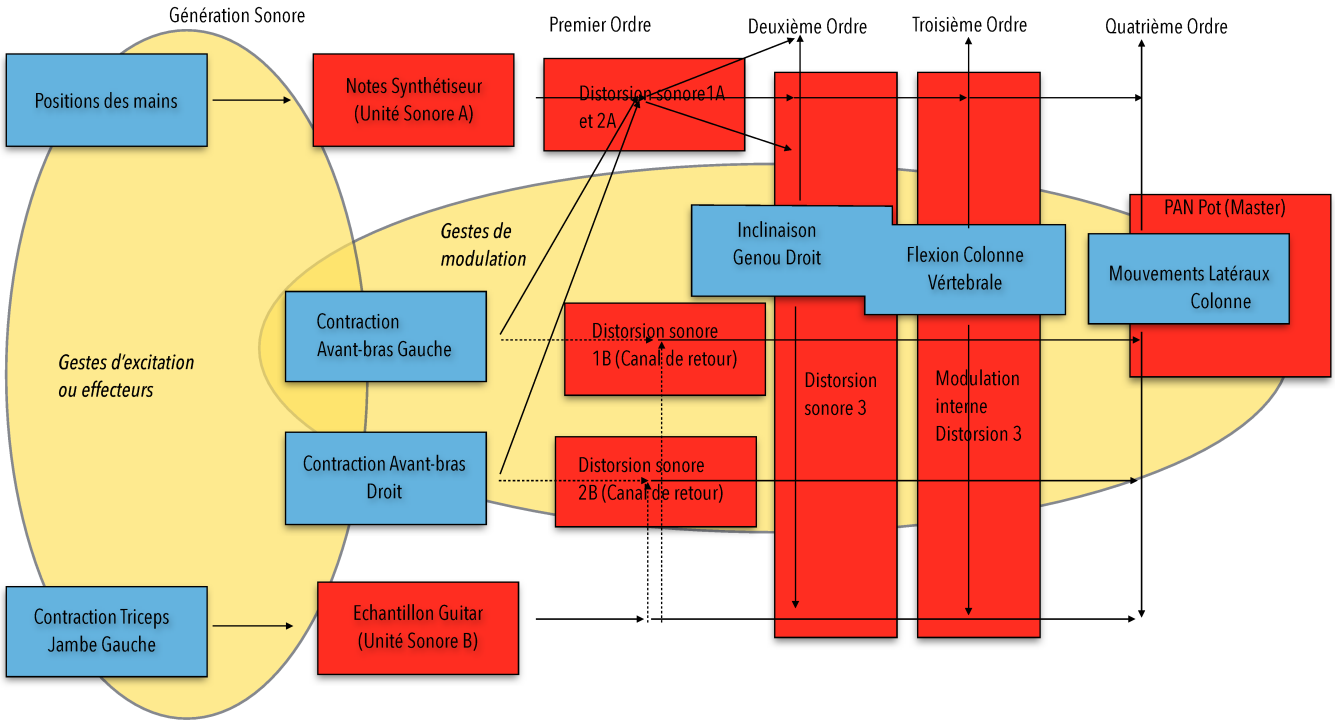
Dans ce cas l'architecture du mapping se compose de deux unités de génération sonore et de quatre niveaux de traitement du signal. Les deux unités de génération sont associées à autant d'actions corporelles qui revêtent pourtant une fonction primaire dans l'organisation perceptive de l'interaction. Ces deux actions sont la position des mains dans l'espace de la kinesphère et la contraction musculaire du triceps de la jambe gauche. Six positions de base des mains (trois pour la main droite et deux pour la main gauche) sont détectées permettant au geste de déclencher un son. Chaque position est associée à une note différente d'un synthétiseur numérique. Ces sons représentent dans ma configuration l'« unité sonore A ». L'autre action primaire est la contraction du triceps. Celle-ci contrôle la génération d'un échantillon qui constitue l'« unité sonore B ». Étant donnée la complémentarité bidirectionnelle du mapping, les deux unités peuvent être générées indépendamment ou simultanément selon les exigences expressives de la performance.

La tension musculaire produite par les mains représente le premier niveau de traitement sonore. L'action de la contraction de la main a donc, en termes hiérarchiques, une fonction de deuxième degré par rapport aux actions de génération sonore. La contraction de chaque main provoque une modulation différente du son produit par la position de la main ou par la contraction du triceps. Ici nous avons une première

stratification du signal. Dans le cas de l'unité sonore A, les modulations agissent de manière directe en se superposant. Dans le cas de l'unité sonore B, la contraction des mains contrôle des effets auxiliaires. En particulier, les signaux EMG contrôlent l'envoi du son principal aux *bus* de traitement sonore. Par conséquent, les deux contractions produisent, dans le cas de l'unité sonore B, autant d'images sonores qui s'ajoutent au son principal. Même dans ce cas, le principe de complémentarité bidirectionnelle est appliqué : les contractions des main peuvent agir de manière autonome ou ensemble en produisant des résultas diverses. En d'autres termes, si je contracte la main gauche et le triceps j'aurai un résultat, si je contracte la main droite j'en aurai un autre. Si je contracte le triceps et la main j'aurai un troisième résultat acoustique. Le même schéma règle le rapport entre contraction et position des mains. De plus les unités sonores et les effets du premier niveau peuvent être activés simultanément. Dans ce cas la contraction modifie les deux sons en même temps.

Les unités sonores A et B peuvent également être modulées par trois ordres de traitement sonore qui sont enchaînés en succession. La modulation de deuxième niveau est déterminée par l'inclinaison du genou droit. La modulation de troisième niveau est contrôlée par la flexion de la colonne vertébrale en avant et en arrière. Cette modulation est une configuration interne au deuxième niveau. Par conséquent, elle dépend de l'inclinaison du genou : si je plie le dos sans que le genou soit incliné cela ne produit pas de résultats en termes sonores. Cette stratégie permet d'introduire un mécanisme d'interdépendance acoustique et anatomique qui peut suggérer des modalités de composition du mouvement inédites. Le dernier niveau de modulation est contrôlé enfin par les mouvements latéraux de la colonne. Ce niveau est complètement indépendant des tout les autres. Pourtant il peut affecter le son directement au niveau de la production sonore.

Schéma 12 - Example de configuration du mapping hiérarchisée



9.5 Conception sonore : rendre le son plus corporel

Selon la théorie moto-mimétique et en accord avec le paradigme du couplage entre action et perception, le son et le mouvement présentent un répertoire partagé d'analogies structurales. Par conséquent, la conception d'une connexion perceptible entre la morphologie acoustique et la qualité du mouvement semble être une stratégie efficace pour introduire un fort degré d'expressivité et de « cohérence » dans l'interaction geste-son. Cette conception a un rôle importante à l'intérieur de mon processus de création. Les stratégies de composition sonore adoptées cherchent à créer des résonances perceptibles entre la cinématique sonore (c'est-à-dire le son conçu comme une texture, comme une matière) et corporelle (c'est-à-dire le corps entendu comme creux réagissant aux vibrations acoustiques). L'utilisation de métaphores incarnées a tout d'abord la fonction de supporter la recherche d'une "physicalité" de la texture sonore. Par conséquent, il s'agit part d'orienter le design vers l'exploration de la corporéité du son. D'autre part, il faut concevoir la texture acoustique en fonction des effets produits, en termes perceptifs, sur l'anatomie physique et virtuelle du *performeur*. Dans le cas du premier module de ma performance, la

sensation d'effort est une métaphore centrale. Cela est dû tout d'abord à l'utilisation structurale des signaux EMG : le travail avec ce genre de captation physiologique fait que la sensation proprioceptive de la tension musculaire a un rôle prédominant dans la conception de l'interaction. Lors des premières répétitions j'ai décidé d'approfondir de manière systématique cette condition de mise en tension du corps. Au-delà de l'utilisation des signaux EMG, j'ai commencé pourtant à travailler sur la construction d'interactions impliquant des mouvements de grand effort physique (au moins par rapport à ma préparation physique). Lors du travail de résidence avec Piero Ramella, nous nous sommes concentrés sur l'exploration de certains mouvements du genou ou de la colonne produisant une sensation d'effort particulièrement remarquable. En m'inspirant des prémisses théoriques de la cognition musicale incarnée, j'ai décidé d'intégrer la métaphore de l'effort à l'intérieur de la conception du design sonore. J'ai ainsi travaillé sur l'exploration de qualités sonores capables de m'induire une sensation d'effort, ou de tension, similaires à celles provoquées par des mouvements de contraction musculaire extrêmes. De plus, j'ai travaillé également sur l'analogie métaphorique entre accumulation d'énergie physique (en référence à la grande énergie physique exercée pendant la contraction du muscle) et accumulation d'énergie fréquentielle. Par cela, j'ai décidé d'associer la sensation de tension corporelle à la sensation acoustique (et somatosensorielle) produite par la saturation du son. En particulier j'ai mis l'accent sur l'utilisation structurale de différentes modalités de distorsion du son en m'inspirant, dans une certaine mesure, de l'esthétique de la musique noise-rock, et du post-rock expérimental[665]. L'idée de base est d'associer un certain niveau de distorsion du son à la sensation d'effort provoquée par un certain mouvement. En termes musicaux, cela revient à expérimenter différents degrés d'*overdrive* sonore. Ce choix s'avère être cohérent même sur un plan conceptuel. Le terme « *overdrive* » (mot anglais, qui signifie « amener au-delà des limites ») est un terme utilisé dans le domaine musical indiquant la saturation du signal d'un amplificateur. L'effet obtenu est une distorsion sonore de l'instrument connecté à l'amplificateur, appelé *crunch*. La distorsion émerge donc comme effet d'une accumulation du signal qui

[665] Le terme noise rock est utilisé pour décrire un genre musical caractérisé par une désintégration systématique du son harmonique ainsi que par l'emploi de dissonances, de *larsens* et de distorsions, tout en conservant les structures formelles de la musique rock. L'expression post-rock indique généralement un genre musical qui utilise des instruments typique de la musique rock (guitare électrique, basse, batterie) d'une manière qui n'est pas conforme à la tradition rock elle-même, mais qui s'inspire plutôt des avant-gardes.

au maximum de son amplitude génère des fréquences non-linéaires supplémentaires et/ou des fréquences inharmoniques. L'analogie morphologique entre tension sonore et tension corporelle est donc assez évidente. Par conséquent, l'organisation de degrés de saturation acoustique a été utilisée comme pierre angulaire de la conception sonore du travail.

9.5.1 Différents degrés de saturation du son et de tension corporelle : une composition *audiotactile*

De manière générale, le design sonore se base sur l'exploitation de trois typologies de traitement du signal : utilisation systématique de compresseurs, manipulation de différents genre de simulateurs numériques d'amplificateurs de guitare, travail de traitement spectral du son par le biais d'algorithmes de *resynthèse* du son (FFT inverse)[666], emploi structurel de lignes de retard (*delay*). D'autres effets à l'instar des effets de réverbération par convolution ont été utilisés pour enrichir la qualité spatiale du timbre[667]. Afin de créer une relation expressive entre le mouvement et le *feedback* sonore, chaque effet de distorsion du son est comparé empiriquement à la sensation interne d'effort induite par un certain mouvement. La composition de différent degrés de saturation acoustique est donc articulée en associant l'intensité du son (tantôt en termes de dynamique tantôt en termes d'énergie spectrale) à l'intensité du mouvement (en termes de tension éprouvée). Même dans ce cas, l'efficacité de l'interaction est évaluée, en dernière analyse, en performant le son. Cette stratégie empirique d'évaluation permet de tester de manière intuitive la capacité du système sensori-moteur à intégrer les informations auditives produites par le *feedback* sonore. D'autre part, cela permet de modeler le design sonore sur la base d'une certaine articulation du mouvement. Cette modalité créative se structure pourtant d'une manière bidirectionnelle et, j'ajouterais, chiasmatique : d'un côte le mouvement s'adapte en fonction d'une certaine tâche sonore, de l'autre le design du son reflète

---

[666] Cf. Curtis ROADS, *L'audionumérique. Musique et Informatique* [1996], Paris, Dunod, 2016 p. 399-406.

[667] Les effets de réverbération par convolution sont des algorithmes exploitant l'analyse ainsi que la modélisation physique de la réponse impulsionnelle d'un certain espace, réel ou imaginaire. La réponse impulsionnelle d'un certain environnement est obtenue en enregistrant la réponse sonore à un son explosif extrêmement bref. La modélisation de cette réponse permet d'élaborer un repertoire d'algorithmes pour la réverbération numérique du son. Cf. Curtis ROADS, *op. cit.*, p. 162-163.

les possibilités d'articulation anatomique du mouvement. Cette double interaction entre mouvement et son permet d'envisager des modalités inédites de composition du geste sonore.

La conception générale du design sonore s'articule donc selon ce qu'on pourrait définir comme une composition *audiotactile*, à savoir une écriture musicale qui vas de pair avec l'organisation du geste. Dans la configuration du mapping présentée, les mouvements des mains dans l'espace de la kinesphère sont les seuls qui ne demandent pas une contraction remarquable des muscles. Ils exploitent donc une activité purement isotonique. Par conséquent, ils représentent, dans le cadre de mon travail, le point zéro de l'énergie physique. De la même manière ils ne produisent pas de saturation du son. Ces mouvements génèrent ce que j'ai appelé l'« unité sonore A ». Cela ce compose des notes d'un synthétiseur déclenchées selon les différentes positions des mains. Le son est créé par une combinaison de synthèse additive et soustractive. Trois oscillateurs ont été employés (deux ondes sinusoïdales et une onde en dent de scie modifiée), auxquels on s'ajoutent un filtre et un LFO donnant une micro-structure itérative interne au son. Le timbre résultant est assez harmonique et brillant. L'unité sonore B, générée par la contraction du triceps, est associée à un premier niveau de saturation. Dans cas, j'ai créé un échantillon en enregistrant un *larsen* d'amplificateur de guitare électrique. Le son a été traité avec des résonateurs et des filtres afin de valoriser les fréquences les plus extrêmes de la région aiguë du spectre. La contraction du muscle est utilisée pour contrôler simultanément la variation de fréquence d'un filtre passe-haut traditionnel et la densité harmonique d'un filtre spectral. Si le triceps n'est pas contracté aucun son est produit.

Les contractions des membres supérieurs produisent autant de distorsions du son. Pour chaque unité sonore deux effets d'*overdrive* sont ajoutés. Sans vouloir s'attarder sur les caractéristiques techniques des distorsions employées, je note simplement que les deux effets se superposent. Par conséquent, le niveau de saturation du son est directement proportionnel au degré de tension de mon corps : tout simplement, la contraction des deux membres supérieurs, en activant les deux effets de distorsion simultanément, provoque une saturation du signal prépondérante par rapport à la contraction d'une seule partie du corps. De plus, vu que la combinaison entre position des mains dans l'espace et contraction des mains produit une sensation de tension mineure à celle induite par la combinaison entre contraction triceps et des mains, les effets associés à cette dernière configuration comportent un niveau de saturation du son plus évident.

Les paramètres associés aux mouvements du genou droit et de la poitrine ajoutent des niveaux de

transformation sonore. L'inclinaison du genou contrôle l'envoi du son à un effet de distorsion caractérisé par une modulation interne de l'amplitude. La fréquence de cette modulation est contrôlée par la flexion de la colonne vertébrale. Ce dernier effet ne comporte pas une saturation du son. Cependant l'augmentation de la fréquence du LFO produit une sensation de tension croissante qui vas de pair avec l'inclinaison de la partie supérieure de mon corps (mouvement qui me demande également un certain effort physique). Dans le dernier niveau de traitement sonore les mouvements longitudinaux de la colonne (droite/gauche) modifient la distribution stéréophonique du signal audio. Cet effet n'est pas informé par la métaphore de l'effort. Cependant il s'agit d'un mécanisme efficace permettant de créer un *feedback* acoustique cohérent en rapport aux inclinaisons latérales du corps.

9.6 « Performer » le son

Une telle approche au design sonore interactif permet de connecter la perception interne du mouvement aux sensations produites par le *feedback* sonore. À partir de cette base de données perceptives il est alors possible de développer des stratégies expressives intuitives dans le cadre de l'improvisation. Il convient de noter qu'une telle conception affecte en outre la relation entre action et perception en informant ainsi l'organisation du mouvement. La sensation de tension est expérimentée, en effet, en relation à l'effort physique demandé pour produire du son. Un deuxième niveau d'effort est induit dans la mesure où la saturation sonore évoque des sensations de tension tantôt au niveau imaginatif tantôt au niveau des micro-réactions du tonus musculaire. L'accumulation dynamique et spectrale de l'énergie sonore produit un "retour d'effort" secondaire qui résonne avec la sensation primaire provoquée par la contraction des muscles. En ce sens une intégration multimodale des différents stimuli sensoriels se produit en renforçant la précision dans l'exécution des gestes sonores ainsi que l'expressivité de la présence physique. En dépassant la logique du contrôle, l'interaction devient ainsi l'expression d'un rapport « viscéral » (au sens de Tanaka) avec la matière sonore. La cohérence profonde entre la rétroaction sonore et l'organisation perceptive du mouvement permet en fait d'aller au-delà de seuls gestes de production sonore. Ainsi il est possible d'une part d'explorer les mouvements supplémentaires qui aident la précision des gestes sonores et de l'autre d'approfondir la capacité expressive du mouvement en relation aux qualités sonores produites.

9.6.1 Redessiner la géographie sensorielle du corps

Dans le travail fait avec Piero Ramella, nous avons d'abord travaillé à l'identification des mouvements strictement nécessaires à la production sonore. L'idée était d'une part de travailler sur l'économie du mouvement pour ensuite toucher le niveau expressif de la présence. De l'autre il s'est agi d'explorer toute une série de mouvements graduels afin de prendre conscience de différentes nuances des interactions sonores. De ce point de vue, nous avons travaillé sur le caractère informationnelle du *feedback* sonore, c'est-à-dire sur la capacité de la rétroaction à informer la qualité du mouvement par le biais du son. Lors de ce travail, destiné d'abord à entraîner mon corps à la production sonore, j'ai remarqué comment le *feedback* agissait sur la réorganisation du mouvement au moins selon deux niveau : un microscopique et l'autre plus macroscopique. Le premier niveau concerne la composition du geste. Dans le deuxième module, par exemple, j'ai travaillé sur une configuration de gestes-vecteurs. Ce travail m'a imposé une déstructuration du mouvement selon la modalité de captation du geste. Comme les différents aspects du mouvement mesurés (accélération, orientation et contraction du muscle) étaient liés à autant de propriétés sonores, j'étais obligé de prendre conscience des qualités impliquées dans un tel mouvement. Dans la configuration réalisée, le *feedback* sonore informe donc sur la manière de construire le geste en ayant ainsi une rétroaction générale sur l'organisation du mouvement. Grâce aux retours sonores, avec Piero nous avons pu travailler par exemple sur la manière d'exécuter un geste accéléré sans impliquer la rotation du bras, ou encore sur celle d'exécuter des gestes de rotation avec de combinaison différentes d'accélération et/ou de contraction des muscles de l'avant-bras. Dans ce cadre j'ai appris comment différencier la qualité du geste en faisant partir le mouvement de l'avant-bras ou des omoplates. Le *feedback* m'a permit de construire les gestes à partir de l'image sonore créée par le biais du mouvement. De la même manière, dans le premier module (dont j'ai présenté le mapping ainsi que le design sonore) la rétroaction sonore m'a permis de prendre conscience, pendant les répétitions, des différents niveaux d'effort impliqués dans plusieurs mouvements ainsi que de trouver quels mouvements auxiliaires me permettaient d'avoir un contrôle de la production sonore. Dans ce cadre j'ai appris la composition de différents muscles des membres supérieurs et quelles parties du corps sont impliquées dans la contraction du muscle. Ce travail m'a donc permit de reconfigurer mon corps, au niveau microscopique, en fonction de la tâche sonore à accomplir.

Un deuxième niveau de réorganisation, plus macroscopique, est déterminé par la distribution des capteurs sur le corps ainsi que par l'architecture du mapping. La hiérarchisation dont nous avons parlé à propos du mapping ne concerne pas seulement la stratification de l'interaction sonore mais elle affecte directement la reconfiguration de l'anatomie virtuelle du corps. Chaque capteur intensifie une certaine partie du corps en lui donnant une fonction et une importance en relation à l'économie générale de l'interaction. Les deux jambes ont une fonction différente. La jambe gauche travaille sur la contraction du triceps tandis que la jambe droite se mobilise surtout en fonction de l'inclinaison du genou. D'ailleurs la contraction du triceps, qui dans nos mouvements quotidiens a un rôle mineur, ou au moins irréfléchi, a ici une importance remarquable car elle contrôle la génération d'un des deux unités sonores. Elle assume alors un rôle prédominant dans la performance. De plus, la configuration spécifique du mapping, et par conséquent l'articulation spécifique de la génération sonore, impose de repenser la géographie du corps en termes de rétroaction acoustique. Dans ce cadre le *feedback* oblige à transformer l'anatomie virtuelle du corps selon les rapports d'interdépendances élaborés au niveau du mapping. C'est grâce à ces contraintes, que des modalités inédites d'organisation perceptive du mouvement émergent. Par exemple, la contraction des membres supérieurs dépend de la contraction du triceps, la flexion de la colonne vertébrale est conçue en relation à l'inclinaison de la jambe droite, les oscillations latérales de la poitrine peuvent interagir avec les positions des mains dans l'espace de la kinesphère. Pourtant, si d'un côté la distribution des *feedbacks* sonores détermine l'intensification de certaines parties du corps, l'architecture du mapping modifie les relations et les rapport de dépendance entre les différentes fonctions du corps. En re-dessinant la géographie sensorielle du corps, il est donc possible d'imaginer autrement le rapport entre geste, perception et son en affectant ainsi directement l'organisation sensori-motrice du *performeur* sur scène.

9.6.2 Stratification du geste sonore

Comme je l'ai suggéré, le travail de déconstruction et de reconfiguration du mouvement permet d'intégrer les *feedbacks* sonores à l'interne de l'organisation perceptive du mouvement. Ce travail ne demande pas seulement l'incorporation des mécanismes interactifs finalisés à la production sonore. Il s'agit surtout de co-articuler ces gestes avec le reste du corps. Même dans ce cadre, un point de vue holistique nous permet d'étendre les gestes de production sonore non pas comme des unités isolées mais en relation

avec tous les autres mouvements secondaires qui participent à la réalisation globale de l'action. Sur la base de mon expérience j'ai remarqué en outre que, à l'inverse des performances musicales traditionnelles, les performances interactives alimentent ce que j'appelle une *stratification* du geste sonore. Comme je l'ai montré, les catégories fonctionnelles du geste musical définissent le rôle de divers mouvements impliqués dans la pratique de l'interprète. Dans le cadre des performances basées sur le paradigme du corps-instrument, les différentes fonctions gestuelles ont tendance à se fusionner les unes dans les autres. Le fait de n'avoir pas un corps-médiateur externe provoque une stratification des diverses articulations geste-son sur le corps du *performeur* lui-même.

Un premier niveau de stratification émerge à l'interne des gestes de production sonore. Dans le cas par exemple des interactions avec la kinesphère nous avons tout d'abord des gestes d'excitation, qui correspondent à la position des mains. La position des mains, en déclenchant le son a une fonction génératrice. À ces gestes, on peut ajouter la contraction des mains qui modifie le timbre du son déclenché. Ces gestes sont donc des gestes de "modification" (selon le lexique de Cadoz). Si donc le geste d'excitation s'accomplit par l'extension du bras, qui permet d'activer la zone de détection, le geste de modification intervient comme variation de celui-ci, c'est-à-dire à travers la contraction du même membre. Du point de vue de l'organisation perceptive du mouvement les deux gestes représentent deux stratifications à l'interne du même mouvement. Il convient de noter qu'une telle stratification est renforcée par le fait que le mapping exploite un contrôle multimodal du mouvement qui permet donc de superposer l'activité isotonique et l'activité isométrique dans la même action.

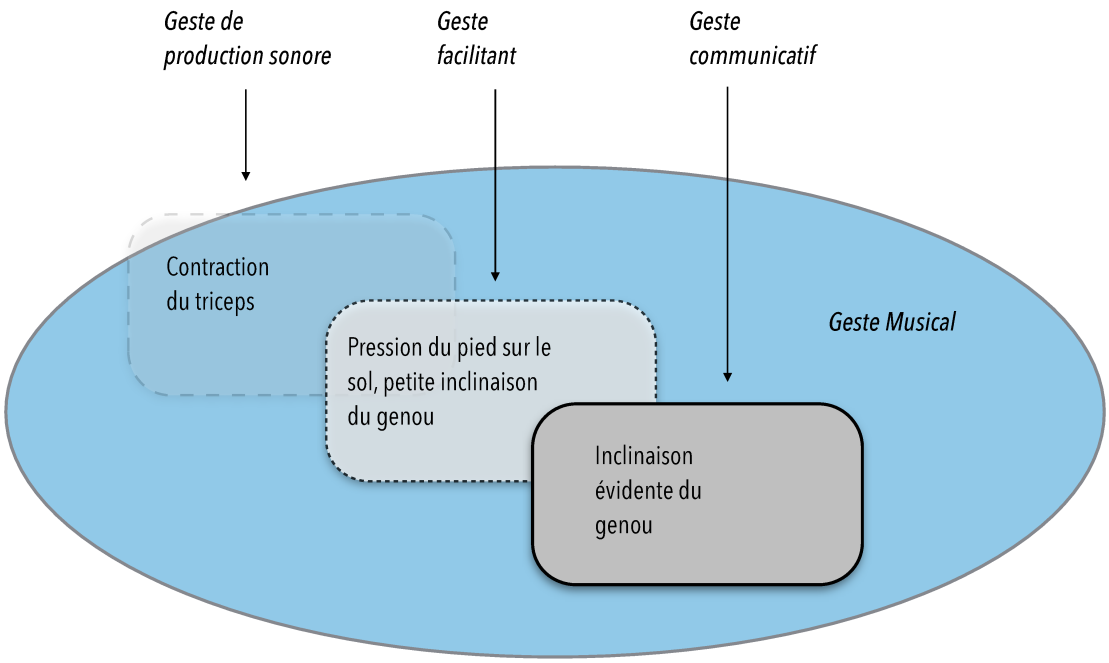
Ce principe de la stratification des gestes fonctionne également sur d'autres articulations gestuelles. Comme je l'ai suggéré, l'incorporation de l'interaction ne concerne pas exclusivement la connaissance des gestes de production sonore, mais elle implique la co-articulation avec le reste du corps. Par exemple, dans le cas de la génération de l'unité sonore B, c'est-a-dire le son produit par la contraction du triceps, deux groupes de mouvements auxiliaires s'avèrent essentiels : la contraction abdominale, une légère inclinaison du genou ainsi que la pression de la pointe du pied sur le sol permettent d'améliorer le contrôle de la modulation sonore. Au même moment, d'autres mouvements impliquant la partie supérieure du corps, comme par exemple de légères oscillations latérales du torse et des bras, contribuent à la répartition du poids en assurant ainsi un équilibre et une stabilité du corps lors de l'exécution du geste de production

sonore. Ces types de mouvements ne sont pas directement liés à la production sonore. Néanmoins, ils s'avèrent être essentiels pour améliorer tantôt le phrasé musical tantôt le contrôle de la présence du corps en scène. Les gestes facilitants de la jambe gauche sont un bon exemple de stratification. La contraction musculaire peut produire du son sans engager le mouvement de la jambe. Cependant, la légère inclinaison du genou ainsi que la pression du pied sur le sol peuvent aider à améliorer le contrôle du son en termes de précision. Dans ce cas, les deux gestes auxiliaires - pression du pied et inclinaison du genou - sont intégrés dans l'articulation globale du geste de production sonore sans pourtant s'identifier avec ce dernier. Même ici un mécanisme de stratification est donc à l'œuvre.

Une inclinaison plus évidente du genou peut être utilisée afin de rendre évident pour le public la relation interactive entre le geste et le son. La contraction du muscle est en soi presqu'imperceptible, surtout si le public est assez éloigné de moi. Dans le but de rendre l'interaction intelligible, j'ai adopté une stratégie expressive impliquant des mouvements supplémentaires aux gestes de production et de facilitation sonore. Lors de la performance, j'ai souvent tendance à synchroniser la contraction du triceps avec une inclinaison visible du genou. Une telle synchronisation n'a ici aucune finalité sonore mais plutôt une fonction expressive : il s'agit de focaliser l'attention perceptive du spectateur sur la jambe gauche. Même ce geste, qu'on peut définir comme communicatif, est intégré dans le mouvement global de la jambe en apportant un élément supplémentaire dans le processus de formation multimodale de la signification musicale.

Ces exemples montrent comment l'utilisation de technologies interactives centrées sur le paradigme du corps-instrument rend les frontières entre les catégories fonctionnelles du geste musical assez floues. En absence d'un corps-médiateur externe, les différents gestes composant la pragmatique corporelle de la performance musicale sont intégrés directement dans l'organisation interne du mouvement. En cela ils deviennent des strates, visibles et invisibles, modulant l'anatomie virtuelle du corps.

Schéma 13 - Stratification du geste sonore



9.6.3 L'improvisation et la notion d'émergence

Si l'adaptation du corps à l'architecture numérique aussi bien qu'à la pragmatique du geste interactif renvoie à un niveau primaire de reconfiguration, la logique de la composition qui émerge lors de la performance constitue un degré ultérieur de réorganisation perceptive du mouvement. Comme on l'a suggéré au début du chapitre, un aspect central de mon travail de création est la pratique d'improvisation. Toute forme d'improvisation se base sur des dispositifs de création exploitant au moins quelques principes basilaires : un repertoire idiomatique de gestes, au sens large du terme, et une approche spontanée basée sur l'écoute. Dans le cas du jazz modal, par exemple, le repertoire gestuel se base d'un côté sur les caractéristiques spécifiques de chaque instrument et de l'autre sur les standards harmoniques, mélodiques, rythmiques, etc., partagés par les musiciens. Dans le cas de la danse, le repertoire idiomatique des mouvements renvoie également à des styles et à des paradigmes formels. Le rôle de l'écoute varie considérablement selon le contexte. En se limitant à la seule fonction de l'écoute musicale dans le cadre de la danse et de la musique nous pouvons remarquer deux attitudes opposées. Dans le cas de la danse,

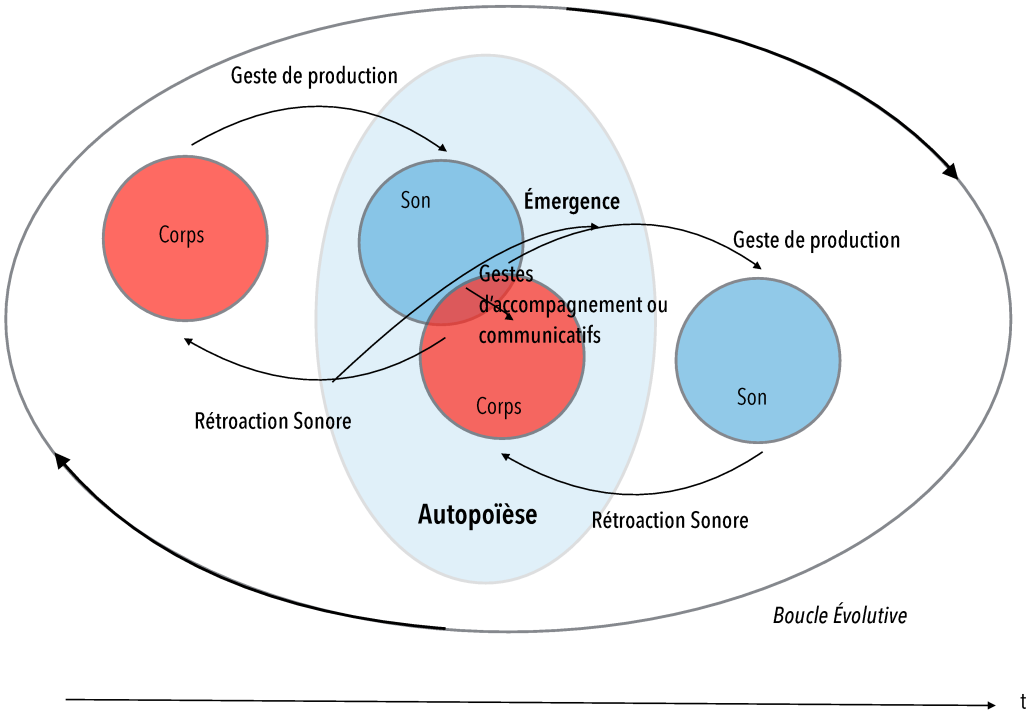
l'écoute de la musique est fonctionnelle : elle sert à exprimer ou interpréter les propriétés structurelles du son. Au sens des catégories fonctionnelles, le geste dansé en musique est un geste d'accompagnement ou il faudrait dire un geste *orienté par la musique*. Dans le cas de la pratique musicale, l'écoute n'est pas fonctionnelle pour la représentation du son mais pour sa production. Le geste musical est par conséquent un geste de production sonore, ou bien un geste *orienté vers la musique*.

Comme on l'a vu dans le cinquième chapitre en parlant de déterritorialisation du geste sonore, l'utilisation de technologies interactives suspend la séparation nette entre geste *orienté par la musique* et geste *orienté vers la musique*. Dans le cas des performances musicales exploitant des technologies interactives, l'aspect communicatif du geste est renforcé puisque le corps est souvent la surface générant la matière sonore sans l'aide d'un corps-médiateur extérieur. Bien évidemment nous faisons ici référence aux pratiques se basant sur le paradigme du corps-instrument (Michel Waisvisz, Atau Tanaka, etc.). De manière analogue, les capteurs en danse permettent au danseur de travailler non seulement en fonction de la représentation de la matière sonore mais également sur sa production (Robert Wechsler, Troika Ranch, Isabelle Choinière). Les technologies interactives introduisent pourtant un espace hybride du geste musical. La compréhension de ce changement de paradigme s'avère nécessaire afin d'interpréter la logique de la composition du geste au sein des performances sonores interactives. Dans le cas de ma pratique, cet aspects a un rôle déterminant. Comme je l'ai précisé au début du chapitre, mes improvisations se basent sur un mécanisme qu'on peut appeler "boucle évolutive" : le geste génère un son, le geste d'après émerge en conséquence du son généré car il incorpore les qualités structurales du premier son, ce geste génère à son tour un deuxième son, etc.. Cette logique élémentaire de la composition du geste est également influencée par d'autres niveaux de signification comme les aspects dramaturgiques, la structure formelle de la performance, etc.. D'ailleurs, ce qui m'intéresse de mettre ici en lumière c'est la présence de deux aspects essentiels : la production et l'interprétation corporelle du son. Ces deux pôles peuvent agir en succession ou simultanément. Par exemple, dans le cas du travail sur l'effort physique, la contraction des bras est un élément génératif du son. Parfois, selon l'évolution de la performance, cette contraction, fonctionnelle tout d'abord pour la production sonore, peut être délibérément exagérée afin de communiquer de manière expressive la qualité du son généré. Dans ce cas la résonance organique entre les sensations internes d'effort et les sensations externes de distorsion sonore, s'avère être fondamental. D'autres mouvements

émergent comme réponse à un certain son. Souvent par exemple, après avoir généré des sons assez puissants, je réagis avec des oscillations des épaules et de la tête. Selon l'ampleur de l'oscillation des épaules ce mouvement peut enchaîner d'autres sons. Dans ce genre d'improvisation, corporelle et sonore en même temps, l'écoute a un rôle prédominant. Par rapport à une performance traditionnelle où l'écoute aide à évoquer un répertoire idiomatique, dans le cas de ma pratique l'écoute a plutôt la fonction d'orienter des comportements intuitifs. Les tensions exprimées par le son sont incorporées en devenant l'objet d'une gestualité figurative qui s'enracine dans la sensation d'effort éprouvée aussi bien que sur la valorisation imaginative de la matière sonore. L'écoute permet donc d'interpréter l'environnement sonore tantôt en relation aux processus de composition musicaux envisagés tantôt en relation aux changements d'état du corps expérimentés. Les deux évoluent pendant la performance en interaction réciproque, selon une modalité qu'on pourrait appeler une co-variation. Cette relation peut être interprétée à travers une notion que j'ai évoqué ailleurs : la notion d'émergence. Cette terme définit les phénomènes présentant des propriétés originales qui ne peuvent pas être réduites aux causes matérielles qui les ont produites. En particulier la logique régissant l'interaction réciproque entre geste et son renvoie au principe émergent de "causalité descendante". Ce genre de rétroaction indique que ces propriétés émergentes modifient la structure de base qui les a générées. En d'autres termes, cette propriété concerne directement le potentiel d'action rétroactive d'une organisation complexe sur le système d'ordre inférieur qu'en est à la base. Cette notion peut être utilisée pour expliquer la logique de la composition du geste sonore dans notre contexte. Le geste produit un *feedback*, ceci est donc un résultat du mouvement. D'ailleurs, il n'est pas simplement un effet puisque il produit une rétroaction sur le système qui l'a généré (le *performeur*). En agissant sur le corps qui l'a produit, le *feedback* sonore modifie les conditions d'apparition du son successif. On comprend donc pourquoi on peut entendre la boucle geste-son, comme une boucle évolutive : en rétro-agissant sur le performer, le *feedback* est, en même temps, la cause et l'effet de l'organisation perceptive du mouvement. Bien évidemment la nature émergent du rapport geste-son dépend du degré d'improvisation de la performance. En règle général il est possible d'affirmer que l'interaction sonore intervienne sur l'organisation perceptive du mouvement en en modifiant la pragmatique opérative et figurative. Ce genre de rétroaction se déroule, comme on l'a dit, selon une perspective diachronique, impliquant donc une

évolution temporelle dans la relation entre système causal et effet produit[668]. À ce propos, le *feedback* sonore ne rétroagit pas directement sur le mouvement qui l'a produit. Néanmoins il affecte la structure générale de l'anatomie corporelle en transformant les conditions d'apparition du mouvement suivant. En ce sens, l'interaction sonore met en lumière la nature dynamique des processus d'organisation perceptive du mouvement ainsi que le potentiel adaptatif de l'anatomie corporelle.

Schéma 14 - La relation geste-son comme processus émergent



[668] Mark Bedau parle à ce propos de « weak downward causation ». Cf. Mark A. BEDAU, "Downward Causation and Autonomy in Weak Emergence" in Mark A. BEDAU et Paul HUMPHREYS, *op. cit.*, p. 155-188.

9.7 Conclusion : l'autopoïèse de la corporéité

Comme je l'ai montré, une approche écologique au processus créatif permet de développer un rapport incarné avec la médiation technologique. En considérant la fonction du mouvement à l'interne de l'organisation sensori-motrice, il est possible d'envisager des solutions techniques efficaces pour implémenter le codage du geste. De la même manière, l'utilisation de métaphores incarnées, inspirées par les processus d'intégration multimodale, permet d'adopter des stratégies de mapping originales. Le travail sur les relations morphologiques et fonctionnelles entre le son et le mouvement peut en outre aider le *performeur* à aller au-delà du système technique, pour expérimenter une approche intuitive à l'expression musicale. Un tel processus de création a pour but de faciliter la sensation de transparence et de non-médiation dans l'interaction avec le son. Cependant, comme je l'ai souligné ailleurs, le processus d'incorporation de l'interface sonore ne peut pas être entièrement compris au sens d'une extension cognitive et corporelle. Il ressort de mon travail de création que l'expérimentation sonore et performative avec les technologies met plutôt en lumière la nature adaptative du système sensori-moteur. En agissant directement sur l'activité physique selon une double modalité (conséquence de l'action et effet rétroactif sur la perception), la sonorisation induit une transformation immédiate de l'organisation perceptive du mouvement. En ce sens, la rétroaction sensorielle de l'interface intensifie et stratifie le processus de reconfiguration de la corporéité en soulignant le caractère virtuel, et donc *transformatif*, de l'anatomie corporelle. En transformant la base sensorielle du système sensori-moteur, le *feedback* sonore modifie les patterns habituels d'action/perception et stimule l'émergence de nouvelles stratégies d'organisation du mouvement.

Ce mécanisme *transformationnel* est la conséquence d'une prise de conscience, tout d'abord somatique, de l'anatomie comme paramètre de variation de la corporéité. La rétroaction sonore est perçue comme trace acoustique du geste informant le *performeur* de la qualité de ses mouvements. Dans cette situation, le *performeur* peut baser la composition du geste sur les canaux proprioceptifs habituels aussi bien que sur les informations extéroceptives issues du son. Une telle stratification de l'expérience perceptive permet de

concevoir le corps non pas comme une unité fixe mais comme un processus d'organisations métastables[669], qui se coagulent temporairement pour ensuite se liber sous forme de lignes de fuite une fois qu'une certaine énergie externe (le *feedback* sonore) intervient en modifiant les conditions de stabilité du système-corps. Sonorisant les traces immatérielles du mouvement, en portant à vision les tensions latentes qui entourent le geste, la médiation technologique permet de valoriser les processus autopoïètiques de l'organisation anatomique tout en déstabilisant l'idée formelle de corps-organisme comme individualité statique et préétablie. Pour ces raisons, la médiation technologique doit être conçue comme un élément harmonique à l'interne du processus d'autopoïèse de la corporéité. Comme je l'ai montré dans ce chapitre, une approche écologique du processus de création permet de concevoir l'interface non pas comme une entité distincte, mais comme partie d'un environnement avec le quel nous interagissons et par lequel nous nous sommes transformés. La reconfiguration des automatismes du corps grâce à l'utilisation de la rétroaction sonore est donc un processus qui sollicite une modalité *énactive* de la connaissance et qui engage les corps humains et les corps technologiques au niveau de leurs substrats informatifs. Pour le *performeur* il s'agit d'apprendre une nouvelle anatomie faite de corps sonores, de nouveaux états de la matière, de nouvelles sensations qu'il faut incorporer en repensant l'organisation perceptive du mouvement comme un processus émergent.

[669] Voir "Conclusions" : cf. *infra*, p. 403-404.

Conclusions

> « Coiffures, ceintures et pagnes bruissantes, grelots de tête ou de cou, anneaux de bras ou de chevilles, jambières et genouillères : leur agitation dans la danse peut conduire celle-ci à incliner ses pas et ses gestes au mieux de la sonorité. Certaines vibrations de la cheville, certaines torsions de la croupe n'ont d'autre but que de produire un frémissement continu des matières qui ceignent ces parties. […] *La musique a très bien pu demander à l'homme de devenir par la danse un de ses instruments* […]. À côté de ces étonnants hommes-sonnailles, […] il se conçoit des danses d'intention purement plastique mais qui trouvent dans le moment de leur exaspération des aboutissements sonores : […] le danseur pris soudain de frénésie et faisant feu de tous ses membres improvise un tapage qui montre la musique instrumentale sous l'aspect non plus d'ornement corporel mais de réflexe ou de crise. Le rythme plastique au bout se décharge dans une gesticulation bruyante, singulièrement communicative et qui explique que dans des états continus d'effervescence il ne nous soit plus possible de distinguer entre les danseurs et les musiciens. »[670]

Interroger l'origine de la musique ne signifie pas seulement enquêter sur ses racines historiques. Poser la question de l'origine de la musique implique, du point de vue phénoménologique, d'enquêter sur ce que la musique est dans ses fondements, c'est-à-dire dans son essence phénoménale. Jadis, musique et danse étaient une seule chose. Pratique musicale et danse avaient une origine commune dans la résonance réciproque qui lie le corps au son. Cette union originelle et mythique du *corps sonore* est représentée par la figure archétypique de l'homme-sonnaille, danseur équipé d'ornements acoustiques capables de créer des échos sonores du mouvement. Dans la pragmatique corporelle de ce *proto-performeur* les gestes de production sonores, les gestes d'accompagnement ainsi que les gestes purement communicatifs, se mélangent dans un seul continuum *audiotactile*. De cette manière, les déplacements de l'homme-sonnaille représentent, dans leur essence, une dramatisation acoustique de l'espace. En résonant avec le corps en mouvement, les chevilliers, les sonnailles, etc., constituent le dispositif de médiation permettant d'amplifier la qualité expressive du geste sous forme sonore. Avant même que les instruments de musique fassent leur

---

[670] André SHAEFFNER, *Origine des instruments de musique. Introduction ethnologique à l'histoire de la musique instrumentale* [1936], Paris, Mouton Éditeur,1968, p. 37-38. Nous soulignons.

apparition comme objets culturels manipulables, l'être humain incorpore des fragments de l'environnement externe pour en faire des corps-résonateurs. Grâce à l'utilisation de matériaux résonants, l'homme sonorise ses mouvements et dessine une image acoustique de son propre corps. Ici la matière n'est pas encore un objet sophistiqué demandant une technique savante de mise en résonance. Les ornements sonores représentent une forme de transduction directe de l'énergie physique en énergie acoustique visant à l'exaspération expressive du geste. Cette alliance ancienne entre musique et mouvement nous renvoie au statut originaire du *corps sonore.* D'une part, le corps sonore est l'objet-médiateur, la cavité résonante externe qui permet de concevoir le *corps comme son*. D'autre part, le corps est, de son origine, un corps sonore puisqu'il représente le premier corps-objet qui peut être tapé, frotté, etc., afin de produire du son. Le corps est d'ailleurs le creux où la voix se fait chair, se *corporise* :

> « Parmi mes mouvements, il en est qui ne vont nulle part […] : ce sont les mouvements du visage, beaucoup de gestes, et surtout ces étranges mouvements de la gorge et de la bouche qui font le cri et la voix. Ces mouvements-là finissent en sons et je les entends. Comme le cristal, le métal et beaucoup d'autres substances, *je suis un être sonore*, mais ma vibration à moi je l'entends du dedans […]. Comme il y a une réflexivité du toucher, de la vue et du système toucher-vision, il y a une réflexivité des mouvements de phonation et de l'ouïe, ils ont leur inscription sonore, les vociférations ont en moi leur écho moteur. »[671]

Cette archéologie du corps sonore, nous renvoie évidemment à la fonction de l'interface dans le cadre des performances sonores contemporaines. Les capteurs du mouvement couplés avec les *feedbacks* sonores semblent, dans une certaine mesure, rappeler la sonorisation originelle du corps une fois assurée par les chevilliers de l'homme-sonnaille. En rétablissant un lien holistique entre mouvement corporel et production sonore, l'approche écologique à la médiation technologique semble pouvoir solliciter une sorte de « retour vers l'avenir », comme l'appelait Robert Wechsler[672], où une interactivité d'un nouvel ordre remplace l'alliance originelle perdue entre son et mouvement.

---

[671] Maurice MERLEAU-PONTY, *Le visible et l'Invisible*, *op. cit.*, p. 187-188. Nous soulignons.

[672] Cf. Robert WECHSLER, "Les ordinateurs et la danse: retour vers l'avenir?", *op. cit.*

Comme je l'ai montré au début de la thèse, l'épistémologie occidentale a, depuis toujours, élaboré une pensée désincarnée de la musique. L'édifice ontologique de la métaphysique européenne a été construit autour d'une conception idéalisée du phénomène acoustique. Tantôt la dévalorisation tantôt la surévaluation du sonore transforment, comme je l'ai montré, les qualités vibratoires du son en simulacres immatériels renvoyant à des plans d'existence externes. L'enquête conduite à l'intérieur de cette thèse démontre au contraire que le phénomène sonore se présente d'avantage comme corporéité. Les technologies numériques permettent de valoriser cette définition du son comme corps. D'une part, l'étude et l'analyse du mouvement en musique montrent que l'expérience sonore ne peut pas être conçue autrement que comme phénomène incarné. Les études expérimentales conduites dans le cadre de la théorie moto-mimétique, de la cognition musicale incarnée, de l'analyse du geste musical et de l'énaction, démontrent, à ce propos, que les aspects majeurs de l'expérience sonore, de la création à la réception de la musique, de la production de signification musicale à la communication expressive, renvoient aux fondements corporels de la perception. D'autre part, le son en tant qu'objet de l'expérience concrète avec les technologies semble lui-même se présenter comme structure corporelle. Cela nous renvoie à une nouvelle déclinaison du corps sonore, c'est-à-dire le *son comme corps*. Grâce aux technologies numériques, le son devient matière manipulable qui peut être analysée, modelée et organisée selon les principes de la composition. De plus, les exemples artistiques que j'ai traité dans la thèse montrent une certaine tendance à concevoir la matière sonore en fonctions des effets produits sur l'organisation perceptive du *performeur* ainsi que de l'auditeur. La tridimensionalité de l'espace sonore d'*Osmose* de Char Davies ainsi que sa connexion avec la respiration et l'équilibre sont conçues dans le but de solliciter l'émergence d'une sorte de proprioception sonore chez l'*interacteur*. D'une façon similaire, le travail sur la matière sonore de Atau Tanaka (utilisation des fréquences extrêmes, bourdonnements, flux granulaires, etc.) est orienté en fonction de la rétroaction produite, en termes physiques et psycho-acoustiques, sur la sensation interne d'effort. L'*audification* du corps dans les dispositifs utilisés par Ginette Laurin ou par Marco Donnarumma évoquent, de manière analogue, une extériorisation de l'anatomie corporelle sous forme sonore. Tous ces exemples montrent donc une tendance à utiliser la médiation technologique dans le but de valoriser ce que Fausto Romitelli appelait la "nature charnelle du son" :

« Non pas symbole abstrait d'une pensée algébrique, ayant une valeur purement oppositionnelle, mais organisme complexe, constamment en évolution, un *corps* avec son métabolisme, ses réaction physiologiques, sa *charnallité*, sa densité, son épaisseur, son volume, son grain, sa fluidité, sa porosité. […] L'objet musical doit *résonner*. Il doit être saisi en qualité d'énigme, d'allusion; il doit tisser (tramer) un réseau de correspondances secrètes avec notre vécu. »[673]

Tantôt la conception incarnée de l'expérience sonore tantôt les processus de sonorisation technologique du corps obligent pourtant à réélaborer l'épistémologie désincarnée de la musique en direction d'une *pensée sonore du corps*.

L'émergence d'une perspective incarnée dans les pratiques artistiques ainsi que dans la réflexion scientifique marque pourtant un tournant majeur dans l'histoire de la pensée occidentale. D'ailleurs, comme Marc Leman semble le suggérer, un tel glissement de paradigme reflète une nouvelle manière d'étendre l'apport de la médiation technologique. Au début de la thèse, j'ai montré comment la relation entre art et technologies numériques a été développé historiquement autour d'une réthorique de l'immatériel. La notion de virtuel, qui représente le centre de la réflexion sur le numérique, a été élaborée en opposition aux notions de corps, de réel et d'humain tout en héritant des superstructures idéologiques de la pensée désincarnée du sonore. En partant de cette constatation, j'ai montré comment la notion de virtuel, loin de s'opposer au corps, représente au contraire un des caractères structurant de notre organisation perceptive. En partant des réflexions de Maurice Merleau-Ponty, de Michel Bernard et d'Alain Berthoz, j'ai montré pourtant comment la notion de virtuel doit être associée à celle de "chiasme", concept désignant la nature réversible de notre apparat sensoriel. Les différentes déclinaisons de la notion de chiasme renvoient en effet aux processus de virtualisation intéressant la perception : la réversibilité d'activité et passivité, la projection motrice au sein de la sensation et l'articulation multimodale du système sensoriel. Ces trois aspects de la perception s'articulent par reflets, simulacres et projections déterminant la nature stratifiée et multiple de l'acte perceptif. Ce premier niveau de virtualisation est amplifié par le mouvement expressif du *performeur*. Le geste dansé, révèle un univers de présences latentes, virtuelles, qui demeurent à la limite du visible.

[673] Fausto ROMITELLI, "Résonances" in Christine BUCI-GLUCKSMANN et Michaël LEVINAS, *L'idée musicale*, Saint-Denis, PUV, 1993, p.45.

Cette stratification de l'organisation perceptive du mouvement, dont le geste du *performeur* en est un exemple remarquable, nous a conduit à substituer la notion de corps avec celle de corporéité. Cette notion, qui renvoie d'ailleurs au *CSO* de Deleuxe et Guattari, présente une conception stratifiée et dynamique de l'anatomie corporelle qui s'oppose à une définition du corps comme entité stable ou comme organisme.

En partant de la problématique de l'expressivité face à la médiation technologique, j'ai montré ensuite comment une certaine conception et utilisation des technologies de captation du mouvement, permet de prendre conscience des processus de stratification de la corporéité. Les œuvres de Merce Cunningham, Stelarc et Char Davies analysées, montrent en effet comment la médiation technologique peut être orientée vers une déterritorialisation radicale de l'anatomie corporelle. Dans ce processus de déterritorialisation technologique, le *feedback* sensoriel joue un rôle crucial. Ceci s'articule selon une double logique de l'*extension* et de l'*intensification*. D'une part, le *feedback* étend le geste sous forme sonore en rendant audibles des aspects du mouvements qui ne seraient pas autrement perceptibles. De l'autre, le *feedback* intensifie certaines parties du corps ou certaines qualités du mouvement en imposant une nouvelle hiérarchie dans l'organisation perceptive du mouvement. Si donc la médiation numérique ne représente pas une forme de suppression de la corporéité, il faut donc étudier les conditions dans lesquelles une véritable interaction avec l'environnement technologique peut se produire. Pour ces raisons, j'ai proposé une analyse de caractéristiques de l'interface en considérant celle-ci comme point de contact entre le geste du *performeur* et la *feedback* sensoriel. L'interface numérique se caractérise d'avantage par sa variabilité interne, c'est-à-dire la possibilité d'être programmée. Cette variabilité est, comme on l'a vu, la conséquence de sa composition par *strates*. À cet égard, j'ai proposé d'analyser l'interface selon quatre aspects principaux : la numérisation, la modularité, l'automation et la *transmédialité*. L'agencement et l'organisation de ces strates détermine la qualité de l'interaction, à savoir le degré de transparence de l'interface. D'ailleurs, comme je l'ai remarqué, une analyse purement technologique du dispositif ne permet pas d'évaluer l'efficacité concrète de l'interaction. Dans ce cadre, ma proposition consiste à interpréter la problématique de l'interaction en déplaçant l'attention de la constitution du dispositif, aux relations médiatiques entre celle-ci et l'*interacteur*. Ce passage implique l'adoption d'un point de vue écologique centré sur les effets produits par le *feedback* sur le *performeur*. Dans cette perspective, j'ai mise en lumière la nature autopoïétique, et

environnementale, de l'interaction sensorielle tout en fixant un point fort au sein de ma réflexion : en introduisant des variants dans le processus d'organisation du mouvement, la rétroaction sensorielle permet de concevoir la perception comme un dispositif d'adaptation aux stimuli externes qui viennent de l'environnement.

Concevoir l'interaction en termes écologiques implique également une connaissance approfondie des mécanismes et des procédures de transformation de l'information gestuelle dans une autre forme sensorielle. En accord avec la problématique épistémologique de départ - repenser l'ontologie du sonore en relation au corps - j'ai proposé pourtant une classification originale des processus de captation et de codage du mouvement dans le cadre de l'interaction son-mouvement. L'analyse présentée démontre comment la réalisation des protocoles d'interaction entre geste et son n'est pas simplement une procédure technique mais plutôt un processus de composition définissant les conditions de co-articulation entre morphologie gestuelle et sonore. Un point de vue global sur l'organisation des modalités, des typologies et des niveaux de l'interaction, permet en effet de concevoir organiquement les seuils d'impédance et de pertinence régissant le processus interactif. Dans ce cadre, la réflexion proposée porte tout particulièrement sur la valorisation de l'aspect sensoriel de l'interaction. Une importance remarquable a été donnée aux procédures d'évaluation qualitatives aussi bien qu'aux stratégies empiriques de mapping. Un certain nombre de concept-clés, issus de la pratique artistique, comme celui de « cohérence gestuelle » ou d'« interaction viscérale », ont été pourtant introduits.

L'étude et l'analyse du processus interactif permet en outre de mettre en lumière une des hypothèses principales de ma réflexion : l'application d'une certaine perspective écologique à la médiation technologique peut induire un renforcement du lien épistémologique et pratique entre son et corporéité. Deux tendances majeures au sein de la pratique artistique et de la recherche scientifique semblent supporter une telle hypothèse. D'un côté, l'introduction des technologies interactives permet de solliciter l'implication corporelle pour l'expérience sonore. Dans ce scénario, la médiation technologique est vouée à la sonorisation de l'anatomie corporelle. De l'autre côté, l'émergence d'une perspective incarnée oriente la médiation technologique vers une compréhension plus holistique du phénomène musical. De ce point de

vue, la médiation technologique permet à la pensée sonore de se *corporiser*. La sonorisation du corps s'articule à travers ce que j'appelé une déterritorialisation du corps sonore. D'une part, le geste musical se différencie dans une variété de gestes sonores liés au rencontre avec différentes pragmatiques corporelles (ex. geste dansé sonore). J'ai appelé cela une déterritorialisation divergente. D'autres part, l'interaction permet de transformer en son des aspects du mouvement assez divers tout en sollicitant une prise de conscience sonore de la corporéité : une déterritorialisation convergente. Comme je l'ai démontré, la déterritorialisation s'articule par degrés. Chaque degré implique un "mode d'existence" de l'interface (au sens d'environnement sensoriel). Ceci détermine un niveau de réorganisation de l'anatomie corporelle du *performeur*. Une telle importance de la corporéité au sein de l'expérience interactive facilite, en même temps, l'adoption d'une perspective incarnée sur le phénomène musical. Dans ce cadre, l'expérience musicale est considérée comme éminemment multimodale, orientée vers l'action, et pourtant située dans un environnement perceptif et culturel (ailleurs j'ai fait référence à la notion de *milieu* de von Uexküll). Au lieu de considérer l'expérience auditive comme un processus purement informationnel, la perspective incarnée affirme que la formation du sens musical et les activités liées à la musique émergent de l'interaction mutuelle entre la perception et l'action musicale et que l'expérience auditive a pourtant une pertinence directe pour notre système sensori-moteur. Les études expérimentales dans le cadre de la théorie moto-mimétique démontrent, d'ailleurs, que les mouvements et la description en réponse à la musique reflètent les propriétés structurelles du son. Du point de vue écologique et énactif, la signification musicale semble en outre émerger de l'interaction réciproque entre l'être humain et son milieu. Le musicien ou l'auditeur n'a pas besoin de faire des calculs pour établir un lien entre les sensations et les actions. Il lui suffit de trouver dans l'environnement les signaux appropriés qui doivent être correctement associés à la bonne réponse motrice.

Une telle compréhension de l'expérience sonore permet de revenir sur la médiation technologique en essayant d'en orienter les stratégies de développement ainsi que les modèles interprétatifs. En accord avec la double logique de l'extension et de l'intensification sensorielle, j'ai proposé d'étendre le rapport entre anatomie corporelle et médiation technologique selon le paradigme de la *reconfiguration*. Du point de vue écologique, le *feedback* sonore ne représente pas seulement une augmentation sensorielle du geste. La

rétroaction présente également une fonction épistémique lorsqu'elle informe l'*interacteur* de la qualité de son mouvement sous forme audible. Dans le cadre du spectacle vivant, cette dynamique permet au *performeur* de repenser l'organisation perceptive du mouvement en se basant non seulement sur les canaux proprioceptifs habituels mais également sur les informations acoustiques fournis par l'environnement sonore et technologique. Comme on l'a vu dans le sixième chapitre, cette logique de la réorganisation du mouvement via le *feedback* sonore ne se limite pas au seul domaine de la pratique artistique professionnelle. Au cours des dernières années, un corpus croissant des recherches semblent mettre en évidence, du point de vue expérimental, les bénéfices de l'utilisation de technologies interactives sonores dans une variété de contextes liés à la pédagogie du mouvement et de la musique, aux processus thérapeutiques et à la rééducation motrice. L'emploi de *feedback* sonores s'avère être un outil efficace pour améliorer la qualité de l'engagement physique et émotionnel des acteurs impliqués dans les processus thérapeutiques, pédagogiques ou créatifs. Par le biais des processus de sonorisation, l'*interacteur* devient conscient des processus physiologiques à la base du mouvement. Dans notre perspective écologique, cette prise de conscience somatique permet d'activer des processus de réorganisation perceptive du mouvement qui sont le résultat d'un nouveau rapport avec l'environnement sensoriel. À ce propos, l'étude de cas proposé montre comment des paradigmes d'interface différents peuvent induire une diversification des stratégies de composition du mouvement. En particulier, le travail avec les étudiantes a permis de mettre en évidence au moins trois éléments importants : 1. La relation entre qualité du mouvement et les caractéristiques morphologiques de la matière sonore qui semblent suggérer des connexions structurelles. Celle-ci semblent d'autant plus évidentes lorsque la matière sonore présente des qualités fortement tactiles (voir par exemple du son granulaire/liquide). 2. Dans une situation interactive exploratoire, on observe une superposition de gestes de production sonore et de réaction au son. Ces gestes s'alternent d'une manière réversible en montrant une continuité organique des différentes fonctions du geste musical. 3. Le *feedback* interactif, et notamment le paradigme de l'espace sentant, permettent de générer des *affordances* sonores. Celle-ci sont associées directement à des comportements moteurs qui émergent pendant l'exploration de l'environnement interactif.

Les pratiques créatives présentées dans la troisième partie de la thèse ont permis d'approfondir le cadre

théorétique esquissé précédemment. Comme on l'a vu, les effets de rétroaction sonore sur le mouvement nous permettent de repenser l'anatomie corporelle non plus comme une entité stable et fermée mais comme un processus d'organisation dynamique. Les exercices proposés dans le contexte pédagogique nous montrent comment le processus d'adaptation corporelle se réalise par des "patterns virtuels" permettant de transférer et de convertir certaines propriétés de l'environnement dans une certaine énergie motrice ou dans une certaine organisation kinesthésique. Comme on l'a vu dans le cas de la première étude de cas, les *affordances* sonores déclenchés par les objets rentrent dans cette définition de pattern virtuel. À partir de l'observation directe et des retours des étudiantes qui ont traversé l'expérience j'ai pourtant proposé de considérer les *affordances* sonores non seulement en termes de possibilités d'action (les différentes typologies de manipulations des objets comme caresser, frotter, tordre, etc.) mais aussi en fonction des organisations kinesthésiques dérivées (les mouvements dansés construits en relation aux objets). Dans ce cas, la rétroaction sonore fonctionne comme matière plastique capable de retenir une trace matérielle de l'objet et des mouvements ergotiques associés. En particulier, la cohérence perceptive entre geste et *feedback* acoustique, permet de déclencher des processus d'intégration multimodale facilitant la transmission de la structure de l'objet dans la composition du mouvement. En gardant un écho moteur du geste, le son devient ainsi un médiateur de patterns virtuels qui résonnent entre le corps de l'objet et le corps du danseur.

En faisant écho au mouvement, le *feedback* retient les caractéristiques morphologiques et expressives du geste. Comme on l'a vu dans la deuxième étude de cas, de telles caractéristiques peuvent être ensuite décodées par le corps de l'auditeur/danseur qui les réactualise dans des nouveaux gestes. En ce sens, l'exercice proposé démontre la continuité morphologique entre gestes de production sonore et gestes d'accompagnement. De tels résultats s'accordent avec le cadre théorique offert par la théorie moto-mimétique et par la cognition musicale incarnée. L'expérience proposée présente d'ailleurs l'avantage de montrer "en direct" le déroulement de la boucle action/perception : production sonore-réception-réaction physique. En dilatant les mécanismes de transformation somatique de l'information sonore, la médiation technologique permet ici de faciliter l'observation des processus d'organisation perceptive du mouvement.

Dans les deux derniers chapitres, j'ai montré comment l'adoption d'une telle perpective permet de

développer des stratégies de création originales dans le contexte du spectacle vivant. Le processus créatif de la pièce *You! Fight* montre en particulier comment un modèle *top-down* permet d'adapter les solutions technologiques et musicales à la finalité motrice et dramaturgique de l'action scénique. Même dans ce cas, j'ai montré comment le *feedback* acoustique n'est pas uniquement une extension sonore du mouvement ou l'effet d'un geste de production intentionnel. Dans l'interaction avec l'espace, par exemple, le son devient une trace permettant de reconstituer une topographie virtuelle du mouvement. Dans la scène "au ralenti", la rétroaction sonore aux signaux EMG, d'une part, facilite l'accomplissement des mouvements graduels de *performeuses*, d'autre part, représente une dramatisation expressive de la tension scénique. Dans tous ces cas, l'interaction sonore agit comme un environnement dynamique dont les *affordances* permettent aux *performeuses* de réorganiser leurs mouvements selon des modalités essentiellement *énactives*. Des mécanismes similaires sont également à l'œuvre dans les stratégies créatives présentées dans le dernier chapitre. Dans ce cadre j'ai montré comment une approche écologique à l'interaction permet de développer des modèles d'interaction expressifs induisant une redéfinition de la géographie sensorielle du corps. En partant d'une méthode *bottom-up*, j'ai démontré comment l'utilisation de métaphores incarnées permet d'adopter des solutions technologiques et créatives originales dans les différentes phases du processus de création (codage, mapping et design sonore). Une telle approche s'avère être efficace afin de stimuler l'implication holistique du corps aux processus de production sonore. Du point de vue écologique il s'agit de concevoir l'environnement interactif et l'*interacteur* comme faisant partie d'un même processus de transformation. Cette conception joue donc un rôle remarquable notamment dans la phase d'évaluation de l'interaction. À ce propos, l'évaluation empirique des effets de rétroaction sensorielle est largement privilégiée tout au long du processus de création. Une telle méthode permet d'ailleurs de construire des protocoles d'interaction pertinents capables d'amorcer une pragmatique expressive intuitive. Tantôt l'intelligibilité de l'interaction tantôt la qualité de la rétroaction sonore, permettent, notamment dans le cadre de l'improvisation, de développer une créativité gestuelle qui d'une part s'oriente vers la production du son et d'autre part exploite la capacité du corps à devenir une caisse de résonance expressive du son. En cela la relation geste-son s'articule de façon émergent par stratifications fonctionnelles et sémantiques. Chaque nouveau geste représente un vecteur ou une ligne de fuite ouvrant à une nouvelle organisation temporaire du corps sonore.

Souvent l'efficacité de l'interaction est évaluée en termes de contrôle sur le système. Cette vision implique une propension à comprendre la relation *performeur*-interface comme une relation purement fonctionnelle. Au contraire, la réflexion proposée dans cette thèse met en évidence la nécessité de construire une conception alternative de la relation *performeur*-environnement technologique, qui tient compte du fait que l'expression musicale se produit non seulement par la transparence de l'interface, mais aussi par un échange de forces affectives, perceptives et symboliques. En induisant une nouvelle géographie sensorielle du corps, l'environnement technologique permet d'agir sur les mécanismes autopoïétiques régissant l'organisation perceptive du mouvement. En s'appuyant sur une vision essentiellement écologique, il est possible en outre de considérer le couplage action/perception non pas comme un processus neutre de transmission d'informations mais plutôt comme une boucle dynamique dans laquelle chaque nouvel strate implique une transformation de l'organisation précédente. Les technologies interactives permettent de créer un entrelacement intime entre les processus de création sonore et les processus de composition du mouvement. En ce sens, le modèle de la médiation technologique comme extension semble être un paradigme interprétatif incomplet puisqu'il ne met pas suffisamment en valeur la capacité du *feedback* sensoriel d'induire une transformation chez le *performeur*. Au lieu du terme "extension" j'ai proposé le modèle de la "reconfiguration" comme paradigme alternatif. Du point de vue phénoménologique, l'extension présuppose un caractère anthropomorphe de la technologie. L'extension renvoie en effet à une entité stable (l'être humain, l'organisme, le corps, etc.) dont les capacités perceptives sont amplifiées. La reconfiguration indique plutôt la nature dynamique de la transformation et présuppose une conception de l'organisme comme une entité "en train de se faire". L'organisation perceptive acquise à travers une certaine pratique corporelle et technologique ne renvoie pas à une entité stable, comme cela pourrait être, à la limite, dans le rapport musicien-instrument. L'organisation anatomie corporelle-environnement technologique/sonore renvoie, à mon avis, à ce que Simondon définissait comme un équilibre métastable[674]. En s'inspirant des processus chimiques de cristallisation, le philosophe utilise le terme métastable pour se référer à une condition primordiale de la matière, un équilibre instable qui est possible grâce à plusieurs niveaux d'énergie en tension entre eux qui, une fois qu'une énergie externe intervient,

[674] Cf. Gilbert SIMONDON, *L'individu et sa genèse physico-biologique*, Paris, PUF, 1964.

produisent une nouvelle organisation. L'aspect intéressant de ce genre d'organisation est le fait que les cristaux ne sont pas réellement présents dans la solution métastable sous forme individuelle. Ils sont néanmoins présents dans la solution cristalline comme potentiel métabolique. En d'autres termes, le potentiel d'organisation des cristaux individuels constitue la solution elle-même. La nature *transformationnelle* et dynamique de la corporéité peut être comparée à une telle forme d'organisation. De la même manière, le *feedback* sensoriel produit par l'environnement technologique constitue l'action externe induisant un mécanisme de réorganisation. La rétroaction permet d'ailleurs de prendre conscience des processus de virtualisation qui régissent l'organisation du mouvement. La médiation interactive permet donc de rester toujours ouvert, d'un point de vue perceptif, aux mécanismes physiologiques qui sont à la base de la composition du geste. En agissant comme effet (le son produit *par* le mouvement) et comme retour (la trace sonore *du* mouvement), le *feedback* permet en outre de prendre conscience du lien entre action et perception. Cette situation est aisément vérifiable lorsqu'on utilise des interfaces *immersives* (sans corps-médiateur externe) : d'un côté le geste détecté est un "geste de production sonore" de l'autre il est aussi un geste "épistémique" puisqu'il produit des informations auditives sur le mouvement. Cet aspect différencie remarquablement l'instrument de musique d'une interface numérique (surtout s'il s'agit de systèmes non-contraignants). En agissant directement sur la sonorisation de l'activité physique dans cette double modalité (conséquence de l'action et effet rétroactif sur la perception), la médiation technologique peut induire une transformation immédiate de l'organisation perceptive du mouvement. Une différence remarquable entre les processus d'incorporation de l'instrument de musique et de l'interface réside en effet dans la rétroaction produite sur l'articulation sensori-motrice. Si les instruments imposent, de manière plus ou moins graduelle, des postures et des mouvements finalisés à la production sonore, les interfaces transforment de manière immédiate la base de données perceptives sur laquelle le mouvement s'enracine. Katherine Hayles, parmi d'autres, soutient que les technologies interactives modifient les pratiques d'incorporation en transformant directement la base physiologique du système de capteurs humains. Ce faisant, observe Hayles, les capacités opérationnelles d'une technologie s'entrelacent au tissu des programmes sensori-moteurs habituels[675]. La réflexion épistémologique conduit dans le cadre de cette

[675] Katherine N. HAYLES, *How we became posthuman: Virtual bodies in cybernetics, literature, and informatics*, Chicago, University Of Chicago Press, 1999.

thèse montre comment l'horizon actuel des nouvelle technologies permet de solliciter la prise de conscience des processus de transformation qu'articulent l'anatomie corporelle. Dans ce contexte le son s'avère être une source informationnelle importante capable de suggérer des stratégies d'organisation perceptive inédites. Les effets de déterritorialisation induits par la médiation technologique peuvent être orientés à partir d'une approche écologique de l'interaction et d'une vision incarnée des processus cognitifs qui entrelacent le mouvement et la perception sonore. De ce point de vue la médiation technologique doit être conçue comme un élément organique du processus de virtualisation et de transformation alimentant l'autopoïèse de la corporéité. Il s'agit, en ce sens, de travailler à l'idée d'une *bio-médiation* [*biomediation*], pour utiliser une expression de Patricia Clough[676]. L'idée de la bio-médiation renvoie au fait que les propriétés d'un être humain et celles d'une technologie ne se développent pas seulement de manière indépendante mais plutôt de façon interdépendante, et j'ajouterais, *énactive*. En partant d'une vision écologique et incarnée de l'environnement technologique il est alors possible d'intensifier la capacité affective et effective de la corporéité en modifiant l'automatisme humain au niveau du système sensori-moteur. Les capacités opérationnelles d'une technologie deviennent pourtant entrelacées avec la physiologie humaine. L'altération de l'automatisme corporel par l'utilisation de la rétroaction sonore se présente comme un processus imprégnant à la fois la corporéité et l'environnement technologique au niveau de leurs substrats perceptifs.

[676] Patricia T. CLOUGH, "The Affective Turn: Political Economy, Biomedia and Bodies" in *Theory, Culture and Society*, 25(1), 2008, p. 1-22.

Annexe 1 - Carnets de bord

ANGELIKA[677]

Étude de cas n. 1

« BUT : explorer l'objet, trouver la qualité de mouvement à partir de l'objet choisi. PRATIQUE : a. Explorer l'objet avec les yeux fermés. b. Explorer l'objet avec des capteurs. c. Exécuter des mouvements libres en gardant la même qualité de mouvement explorée avec l'objet. Toutes les étudiantes choisissent un objet différent. Moi j'ai choisi un ballon dégonflé. Nous avons toutes les yeux fermés. D'abord nous explorons l'objet en le touchant et en essayant de jouer avec lui. […] Ensuite on exécute des mouvements dansés en restant dans la kinesphère. […] Cette pratique nous renvoie à la question de la sensibilité. On touche l'objet, on reçoit de l'information tactile, on essaye de mémoriser ces données et de la retrouver sous forme de qualité de mouvement. Comment rester dans la qualité du mouvement et chercher la danse en s'appuyant sur l'objet? Quant à moi, j'ai essayé de faire passer cette qualité de l'objet par l'intérieur : j'ai essayé de visualiser des images de l'objet, son poids, sa forme, etc., pour ensuite les utiliser dans le mouvement. Il ne s'agit pas vraiment de "penser à l'objet" mais plutôt de le "ressentir". Il faut retrouver l'objet sous forme de qualité motrice. […] Je suis sur le plateau avec une balle dégonflée. Quelles actions puis-je effectuer sur cet objet? En ayant les yeux fermés j'essaye de sentir la surface de l'objet. Grâce au contact tactile je reçois des informations sur la texture de l'objet. Sa flexibilité me permet une grande variété de possibilités d'action. […] Pendant la partie avec les capteurs j'endosse une bague et un bracelet. Dès que j'effectue un mouvement j'entends le son. Le son change en fonction de l'intensité de mon geste sur l'objet. […] Dans la partie successive, j'endosse toujours les capteurs. Cette fois-ci je n'ai plus l'objet. J'essaye de retrouver

[677] Dans cet annexe, j'ai reporté des extraites des carnets de bord des étudiantes qu'on participé aux expériences avec les technologies interactives pendant l'année scolaire 2016-2017. Ces matériels constituent une source primaire pour les analyses proposées dans le septième chapitre. Les carnets de bords étaient 10 dont l'ensemble se composaient de 96 pages. Ici j'en propose des extraits de chacun. J'ai choisi de reporter les parties concernant les retours des étudiantes sur les expériences décrites dans la thèse. J'ai reporté principalement les observations de chaque étudiante à propos de sa propre expérience. Dans certains cas, j'ai reporté également les observations des étudiantes sur leurs camarades. J'ai sélectionné en outre que les parties les plus intéressantes par rapport à notre enquête. L'ordre des carnets de bord est alphabétique par prénom.

l'expérience sensible de l'objet à travers le mouvement dansé. Par contre, le son qu'émerge pendant cette phase produit en moi une image différente de celle-ci que j'avais sans capteurs. Cette qualité sonore affecte mes mouvements mais parfois elle me déconnecte de la qualité de l'objet que j'avais trouvé auparavant. Il y a donc, dans ce cas, une double direction qu'oriente mes mouvements. »

BÉRANGÈRE

Étude de cas n. 1

« Pendant la séance du 27 septembre, nous avons travaillé avec des objets. Pour ma part, j'avais un sac en tissu. […] D'abord j'avais les yeux fermés et j'ai commencé à toucher le sac, à le manipuler. Dans l'exploration je senti que le sac était fin, d'une taille moyenne, léger et avec un tissu facile à manipuler : je pouvais le tordre, le lancer et sentir qu'il retombait doucement. Cela m'a permit de jouer avec son poids, en mettant, par exemple, de l'air à l'intérieur. Je l'ai passé sur ma peu pour voir si c'étais doux au touche, agréable ou désagréable. […] Pendant cette première phase de manipulation je me suis rendu compte que chaque geste apporte des répercussions sensorielles. Dans la phase successive, j'ai gardé en mémoire toutes ces sensations, et j'ai refait l'expérience de manipuler sans l'objet. […] Dans la partie avec les capteurs et sans l'objet, j'essayé de garder les sensations apportées par la qualité de l'objet. Au début les sons produits par le mouvement me perturbaient. Ils m'ont provoqué une sorte de choc. J'étais plutôt dans l'optique de produire du son que dans celle de reproduire les sensations éprouvées avec l'objet. […] Ensuite j'ai fait abstraction du *feedback* sonore et je me suis concentrée sur les sensations gardées en mémoire. […] J'imaginais avoir encore le sac dans mes mains. […] Dans la partie dansé, j'étais complètement dans cette expérience que se diffusais dans la sensorialité de l'espace. Je ressentais chaque sensation, la mobilité que je pouvais avoir avec l'objet. Je ressentais cette sensation dans l'espace : la légèreté, la souplesse, la douceur.

CLÉMENTINE

Étude de cas n. 1

« L'exercice se déroule autour de l'exploration de la fonction haptique avec un objet choisi. Dans mon exploration j'ai travaillé avec une corde. D'abord au sol, assises et avec les yeux fermés, on explore tous les

mouvements possibles avec l'objet choisi. D'autre part, il s'agit d'explorer les qualités sensorielles de l'objet, sa texture, son poids, sa longueur, sa largeur, et notre implication dans la manipulation (par exemple la force qu'on utilise pour le manipuler). […] Dans une deuxième phase on reproduit les mouvements faits avec l'objet mais sans celui-ci, en essayant de garder dans la qualité du geste les sensations éprouvées dans la première phase. […] C'est qui est intéressant dans cet exercice, c'est la façon dont l'objet induit une certaine qualité dans notre mouvement. En regardant les improvisations des autres étudiantes on s'aperçoit de comment chaque objet induit une manière différente de construire le mouvement. La choix de l'objet est aussi intéressant car, je pense, il s'agit d'une choix inconsciente mais pas anodine car on le choisit par rapport à notre propre gestuelle et avec notre façon de voir l'objet ainsi que la manière dont on se projette avec (choix aussi affective, on choisit un objet qui nous plait, avec lequel on a envie de travailler/ expérimenter). […] Dans la deuxième partie, l'exercice se faisait avec un capteur au doigt et un autre autour du bras, ce qui rendait le travail des mains plutôt important. […] Grâce au *feedback* sonore je me rendais compte de la force que je mettais dans mes mouvements, surtout pendant l'improvisation dansé. Grâce au son, il me semblait que l'objet "devenais corps" et j'arrivais à sentir ses qualités dans mes mouvements. Je me lassais porter par les sons émis quand je dansais et au même temps j'essayais de retrouver la qualité de l'objet. […] Il y a avait comme une triangulation objet/mouvement/son. »

Étude de cas n. 2

« Exercice à deux, avec Marine. Nous sommes debout. Je suis derrière elle et nous sommes collées, l'une à contact de l'autre. C'est moi qui dirige le mouvement, bras et jambes reliés avec les yeux fermés. […] Puis nous reprenons le même exercice mais plus écartées. Il n'y a plus de contact, seulement des sensations. […] Il y avait une bonne entente et cohésion entre nous, […] il y a avait une chaleur qui circulait entre nous et qui nous permettait de rester "connectées". […] Puis nous avons refait l'exercice entier avec des capteurs aux doigts, mais il n'ont rien changé à nos sensations, ils les sont plus atténuées. […] Il y avait légèrement moins de connexion entre nous […]. De ce fait, même avec les sons que l'on créait en dansant, cela n'avait aucune répercussion sur nous. »

LAURA

Étude de cas n. 1

« Lors du troisième cours, nous avons réfléchi sur la sensori-motricité à partir de l'expérience haptique. […] l'expérience proposé se base sur l'utilisation des objets. Nous avons choisi toutes des objets différents (boule en plume, sac en tissu, ballon, etc.). Pour ma part, j'ai travaillé avec un papier bulle. […] Pendant l'exploration de l'objet j'ai pu observer que chaque objet engage une manipulation propre à celui-ci. […] Dans mon cas, je pouvais tirer le papier, le tordre, le faire voler, le frotter ou le bouger agilement dans l'espace. […] Dans la partie d'improvisation dansée, mes mouvements s'inspirent à ces qualités dynamique de l'objet. En effet, même dans les improvisations des autres étudiantes, on voit que les mouvements renvoient clairement à la qualité tactile de l'objet. […] Dans la partie avec les capteurs (mais sans l'objet) j'avais l'impression que le son m'aidais à reproduire les mouvements inspirés aux qualités de l'objet. Les *feedbacks* sonore permettaient de mettre en évidence la tonicité musculaire utilisée dans chaque mouvement. De plus, le retour sonore me donnais des informations pertinentes sur la contraction mobilisée pour effectuer un certain geste. Cela rendais plus efficace, plus puissant et plus visible, l'interaction imaginaire avec l'objet et il m'aidais à retrouver les gestes de manipulation. Par exemple, lorsque je reproduit les gestes de tirer vers le haut le film bulle j'utilise la contraction des mes muscles. Dans ce cas les sons me répondent de manière cohérente en renforçant la qualité du geste d'étirement. […] En effet, j'ai ressenti que le son m'a beaucoup aidée à retrouver les mouvements d'exploration de l'objet à partir de la prise de conscience du tonus musculaire mobilisé. »

Étude de cas n. 2

« Je travaille en binôme avec ma partenaire. Nous avons les yeux fermés. […] Je suis celle qui touche. Il s'agit dans cette situation de sentir le contact avec l'épiderme de l'autre et d'imaginer que le contact se prolonge à travers les différentes couches de la peu. […] Je pose ma main sur son bras. Je sent les différentes qualités de la peu. Sa douceur, son élasticité. Je perçoit alors un échange sensitif entre la pulpe de ma main, des mes doigts et la peu de bras de l'autre. […] Dans cette partie de l'exercice j'ai eu beaucoup de difficulté à me synchroniser avec l'autre au niveau de la respiration étant le sien beaucoup plus lent que

le mien. Cela m'a produit une sensation désagréable. […] Dans la partie avec la musique/son c'étais plus facile pour moi de me coordonner avec mon partenaire. J'étais plus à l'aise qu'auparavant car je ne faisait plus attention à la respiration car j'étais concentrée sur la production du son. […] L'interaction avec la musique nous a permit de renforcer notre connexion et notre écoute réciproque. Pendant cette partie nous sommes finalement arrivées à bouger ensemble. »

MARINE

Étude de cas n. 1

« Exercice avec les objets. Durant cette séance on a exploré un système de capteurs que l'on place directement sur le corps. On positionne un bracelet muni de capteurs autour du bras, puis on dispose une bague autour d'un doigt. D'abord on choisi un objet qu'on explore en ayant les yeux fermés. J'ai choisi comme objet un livre. […] L'objet me donnais des informations sur sa forme, son épaisseur, son poids, ses différentes textures. […] Une fois que je n'avais plus l'objet, j'ai eu quelques difficultés à projeter ces sensations dans le mouvement dansé. […] Après cette première exploration, avec et sans l'objet, nous sommes passées, les unes après les autres, au travail avec les capteurs. J'ai aperçu que les sons étaient produits par l'effort exercé. Dans cette exploration, j'étais consciente que les sons étaient produits par mes mouvements. […] Cependant, je n'arrivais pas à ressentir un "feeling" avec le *feedback* sonore. Pourtant, j'ai eu du mal à suivre complètement les consignes données. […] La sensation du poids du livre étais importante pour la construction des mouvements dansés. J'ai en effet essayé à jouer avec cette sensation et ma sensation d'équilibre. Toutefois, je ne suis pas arrivée à me projeter dans l'espace. Je suis restée tout le temps dans ma kinesphère car les sensations issues de l'objet ne me permettaient pas de me mobiliser dans l'espace. Ces sensations m'ont permis de travailler particulièrement sur la qualité du mouvement des membres supérieurs. Avec le son je ne suis pas arrivée à garder les informations tactiles. […] Chez Laura[678] on perçoit clairement que son corps avait enregistré les informations acquises durant l'exploration avec l'objet ainsi que les informations sonores. Elle avais intégré par l'objet et par le son des sensations sensori-motrices, nettement lisibles lorsqu'elle n'étais plus avec le papier bulle. On pouvait observer des actions

[678] Une autre étudiante. Laura a travaillé avec un papier bulle.

musculaires et des gestes (et des sons) identiques à ceux observés dans l'exploration avec l'objet. »

Étude de cas n. 2

« Dans cette séance nous avons travaillé sur la relation entre écouter et toucher. […] J'ai partagé les expériences de cette séance avec Clémentine. […] Pendant cette expérience moi j'étais "réceptrice" et Clémentine "actrice". Dans un premier moment j'étais seule, début et avec les yeux fermés, afin de me concentrer sur mes sensations et trouver un rapport avec le sol. Ensuite Clémentine se positionne derrière moi. Elle s'est placée de sorte que nos corps se touchent (pieds, bassin, caisse thoracique, épaules). Nous sommes restées un moment dans cette position afin de coordonner nos respirations et instaurer une certaine relation de confiance et d'écoute mutuelle. Trouver un terrain d'entente n'a été pas facile. Il m'a été difficile de soutenir le rythme respiratoire de Clémentine car le sien étais beaucoup plus soutenu du mien. Finalement, lorsque nous avons commencé à nous mettre en mouvement une certaine cohésion s'est créée de manière instinctive. Je sentais sa caisse thoracique se remplir d'air, puis son ventre se dégonfler suite à l'expiration. Ce mouvement respiratoire qui mobilisais le tronc créait une connexion entre nous deux également. À la suite de ce temps d'adaptation réciproque, Clémentine devait me guider, me mettre en mouvement par un léger contact. J'étais à l'écoute des sensations que sa présence produisait en moi. Son guidage me paraissait fluide, je comprenais sans difficulté les chemins quenelle mobilisait dans mon corps. Cette expérience me renvoyais à la notion de chiasme infra-sensoriel, c'est-à-dire cette double sensation d'être au même temps touchant et touché lors de la même perception. […] Ensuite Clémentine s'est éloignée de quelques centimètres. […] La relation qui se crée dans cette situation est compliquée à expliquer avec les paroles. J'avais la sensation de rester en connexion avec elle sans pourtant avoir un contact physique. […] Je sentais que l'espace de Clémentine étais toujours partagé avec le mien. C'étais comme si il y avait une espèce de densité entre nous qui n'est pas visible mais qui établissait le lien entre nous. […] L'interaction avec le son ne m'a pas apporté des sensations nouvelles. Le *feedback* sonore n'as pas modifié la sensation de fort connexion que j'avais déjà éprouvée dans l'expérience sans les capteurs. J'avais plutôt l'impression de jouer la musique avec Clémentine. Les sons étaient comme une manifestation audible de notre connexion réciproque qui se faisait par le contact des corps. »

MATHILDE

Étude de cas n. 1

« Exercice avec les objets. Nous avons les yeux fermés. Nous touchons l'objet pour en découvrir les qualités tactiles et les possibilités de manipulation et d'action. […] Ensuite nous devons pouvoir garder les mêmes sensations sans l'objet. Dans la partie dansée il s'agit de transformer ces gestes sur un axe kinesthésique. Ici je me suis inspirée à différentes qualités de l'objet (sa forme, son poids, ses qualités dynamiques) pour construire des mouvements. J'ai imaginé que les qualités de l'objet devenaient le qualités de mon corps. […] Dans la deuxième partie nous avons endossé des capteurs (une bague et un bracelet). Une musique va se créer par le biais des gestes. […] Dans ce cas, les sons m'ont aidée à imaginer les qualités de l'objet comme étant dans l'espace autour de moi. Puis, dans l'improvisation dansée, les gestes pouvaient varier mais j'ai gardé la même qualité de la manipulation. Pour ma part, le son m'a aidé à retrouver ces sensations et ces qualités car j'arrivais à connecter un certain geste aux sons produits. »

Étude de cas n. 2

« Dans cette exercice il s'agit de garder un contact avec le partenaire. Il faut prendre le temps de visualiser le contact de l'autre sur soi, ce que ça produit en nous. […] Nous devons d'abord synchroniser nos respirations en restant à l'écoute de l'autre. La personne derrière va guider les mouvements de celle devant. Il faut, dans ce cas, établir un lien en passant par la peu. […] Ensuite, nous répétons l'exercice en laissant un espace de quelques centimètres entre nous. Il n'y a plus aucun contact entre nous et il vas donc falloir trouver des alternatives au toucher pour rester en lien. Pour ma part, je me suis servi du bruit de la respiration de ma partenaire ou encore de la sensation de son chaleur. Je n'ai pas eu de mal à la suivre. J'ai ressenti une bonne connexion entre nous. […] Nous avons repris le même exercice avec la même partenaire en intégrant des capteurs sur les doigts. […] Pour ma part c'étais plus difficile de suivre ma partenaire parce que avec les sons je n'entendais plus les bruits de la respiration de ma partenaire. J'étais donc plus concentrée sur l'écoute de moi. J'avais plutôt la sensation de contrôler le son et je me suis sentie du coup sans repères. »

MELYSSA

Étude de cas n. 1

« Du côté pratique nous avons traversé une mise en mouvement accompagné d'un objet. Dans cet exercice nous avons agi en fonction de l'objet tout en testant les capacités de ceci. Après avoir eu un temps d'expérimentation avec un objet que nous avons chois, nous effectuons le même processus de mise en mouvement mais sans l'objet. […] Pour ma part j'ai créé des mouvements en partant des gestes expérimentés dans la première partie : des étirements, des frottements, de caresses. […] Cependant j'ai pu observer des difficultés à traduire les qualités de l'objet dans le mouvement. […] Dans la partie avec les capteurs, j'ai eu moins des difficultés à recréer la relation avec l'objet même si l'objet il étais plus dans mes mains. […] J'arrivais à mieux connecter les sons au gestes effectués pendant l'exploration de l'objet. En effet le son permettaient de "rendre visible" la présence de l'objet. Le sons m'ont aidé d'ailleurs à prendre conscience petit à petit de chacun de mes mouvements ainsi que de leu ampleur. »

Étude de cas n. 2

« Dans cet exercice la mise en action s'effectue en duo. Dans un premier temps nous sommes positionnées l'une derrière l'autre. Nous explorons la présence de l'autre en écoutant son chaleur, son contact et sa respiration. […] La personne positionnée derrière doit conduire le mouvement de son partenaire avec le contact des mains. Puis peu au peu la personne contrôlant l'expérimentation doit s'écarter tout en essayant d'amener le mouvement du partenaire à distance. Pour ma part et mon ressenti, plus ma partenaire s'éloignais plus je remarquais une difficulté au niveau de l'écoute de l'autre. Un ressenti d'abandon a été ressenti. […] Nous avons effectué la partie de l'exercice sans contact une seconde fois, mais cette fois-ci en étant accompagnées par le son. […] En écoutant, la notion du temps m'a complètement échappée. J'avais l'impression que le temps d'écoute étais beaucoup plus long. […] Le fait d'être complètement immergée dans les sensations sonores m'a permit de percevoir comme un état second. L'écoute de la musique aidait à guider mon corps et ma perception comme si j'étais "suspendu" dans le son. Même en sachant de devoir me laisser guider j'avais l'impression d'avoir une partie active dans ce dialogue avec le son. Au fur et à mesure que ma partenaire s'éloignais je prenais de plus en plus mes repères sur les

sons provoqués par les mouvements. Dans cette seconde expérience avec les capteurs j'ai pu percevoir une relation plus fluide au niveau du contact avec l'autre. Dans ce cas j'avais l'impression d'une sorte "d'osmose" entre moi et ma partenaire »

Annexe 2 - Documentation audiovisuelle

Chapitre 6

Typologie A - Référentiel Relationnel

https://vimeo.com/239786467

Typologie B - Référentiel Corporel

https://vimeo.com/239809543

Typologie C - Référentiel Environnemental

https://vimeo.com/239813390

Chapitre 7

Étude de cas 1 (Première Partie)

vimeo.com/240144683

Étude de cas 1 (Deuxième/Troisième Partie)

vimeo.com/240147954

Étude de cas 2 (Première Partie)

vimeo.com/240155118

Étude de cas 2 (Deuxième/Troisième Partie)

vimeo.com/240150814

Chapitre 8

You! In and Out the rendering (Etude#1)

https://vimeo.com/123618583

You! In and Out the rendering (Etude#2)

https://vimeo.com/126516965

You! In and Out the rendering (Backstage)

https://vimeo.com/126781440

You! In and Out the rendering @ Fabbrica del Vapore Milan (Italy)

https://vimeo.com/132513293

You Fight @ "Le Hublot" Nice (France)

https://vimeo.com/175082075

Chapitre 9

Étude #1 @ aCROSS Festival Plaisir (France)

https://vimeo.com/166529423

Bibliographie

Captation et Analyse du Mouvement - Technologies, Méthodes et Modèles d'Analyse

ALAOUI Sarah Fdili, BEVILACQUA Frédéric, BERMUDEZ PASCUAL Bertha et JACQUEMIN Christian, "Dance Interaction with Physical Model Visualization based on Movement Qualities" in *International Journal of Arts and Technology*, 6(4),2013, p. 357-387.

ALAOUI Sarah Fdili, BEVILACQUA Frédéric et JACQUEMIN Christian, "Interactive Visuals as Metaphors for Dance Movement Qualities" in *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems (TiiS)*, 5(3), 2015.

BRICK Timothy et BOKER Steven, "Correlational Methods for Analysis of Dance Movements" *in Dance Research: The Journal of the Society for Dance Research*, 29, 2011, p. 283-304

BEVILACQUA Frédéric et FLÉTY Emmanuel, "Captation et analyse du mouvement pour l'interaction entre danse et musique" in *Rencontres Musicales Pluridisciplinaires - le corps & la musique*, Lyon, France, 2004, https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01156921/document

BEVILACQUA Frédéric, ZAMBORLIN Bruno, SYPNIEWSKI Anthony, SCHNELL Norbert, GUÉDY Fabrice et RASAMIMANANA Nicolas, "Continuous realtime gesture following and recognition" in KOPP Stefan et WACHSMUTH Ipke (dir.), *Gesture in Embodied Communication and Human-Computer Interaction,* Berlin, Springer, 2010, p. 73–84.

CAMURRI Antonio et al. "EyesWeb - Toward gesture and affect recognition in dance/music interactive systems" in *Computer Music Journal*, 24(1), MIT Press, 2000, p. 57-69.

CAMURRI Antonio, MAZZARINO Barbara et VOLPE Gualtiero, "Analysis of Expressive Gesture: The EyesWeb Expressive Gesture Processing Library" in Antonio CAMURRI et Gualtiero VOLPE (dir.), *Gesture-Based Communication in Human-Computer Interaction*, Berlin, Springer-Verlag, 2004, p. 460–467.

CAMURRI Antonio et LEMAN Marc, "Musical Content Processing for Expressive Gesture Applications in Interactive Multimedia" in *Proceedings of Conference on Interdisciplinary Musicology*, Graz, Austria, 2004.

CAMURRI Antonio, MAZZARINO Barbara, RICCHETTI Matteo, TIMMERS Renee et VOLPE Gualtiero, "Multimodal analysis of expressive gesture in music and dance performances" in CAMURRI Antonio et VOLPE Gualtiero (dir.), *Gesture-based communication in human-computer interaction*, Berlin, Springer-Verlag, 2004, p. 20-39.

CAMURRI Antonio, CANEPA Corrado, GHISIO Simone et VOLPE Gualtiero, "Automatic Classification of Expressive Hand Gestures on Tangible Acoustic Interfaces According to Laban's Theory of Effort" in SALES DIAS Miguel, GIBET Sylvie, WANDERLEY Marcelo M., BASTOS Rafael (dir.), *Gesture-Based Human-Computer Interaction and Simulation*, Berlin, Springer-Verlag, 2009, p. 151-162.

CAMURRI Antonio et VOLPE Gualtiero, "The Intersection of Art and Technology" in *IEEE MultiMedia*, 23(1), 2016, p. 10-17.

CAMURRI Antonio, VOLPE Gualtiero, PIANA Stefano, MANCINI Maurizio, NIEWIADOMSKI Radoslaw, FERRARI Nicola, CANEPA Corrado, "The Dancer in the Eye: Towards a Multi-Layered Computational Framework of Qualities in Movement" in *MOCO '16 Proceedings of the 3rd International Symposium on Movement and Computing*, Thessaloniki, Greece, 2016.

DELBRIDGE Matt, *Motion Capture in Performance. An Introduction*, Basingstoke (UK), Palgrave MacMillan, 2015.

HERDA Lorna, FUA Pascal, PLÄNKERS Ralf, BOULIC Ronan et THALMANN Daniel, "Using skeleton-based tracking to increase the reliability of optical motion capture" in *Human Movement Science*, 20(3), Elsevier, 2001, p. 313-341.

MAES Pieter-Jan, AMELYNCK Denis, LESAFFRE Micheline, LEMAN Marc et ARVIND D. K., "The conducting master : an interactive, real-time gesture monitoring system based on spatiotemporal motion templates" in *International Journal of Human-Computer Interaction*, 29(7), 2013, p. 471-487

MULDER Alex, "Human movement tracking technology" in *Hand Centered Studies of Human Movement*, Vancouver, Simon Fraser University, 1998, URL : http://www.xspasm.com/x/sfu/vmi/HMTT.pub.pdf.

NAVEDA Luis et LEMAN Marc, "The Spatiotemporal representation of dance and music gestures using topological gesture analysis (TGA)" in *Music Perception*, 28(1), 2010, p. 93–111.

SUTIL Salazar, *Motion and representation: the language of human movement*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2015.

VISI Federico, COOREVITS Esther et MIRANDA Eduardo Reck, "A practice-based study on instrumental gestures in music composition and performance: Kineslimina" in *MuSA 2015 - Sixth International Symposium on Music/Sonic Art: Practices and Theories*, Karlsruhe, Germany, 2015.

Cognition Incarnée, Énaction, Phénoménologie et Psychologie Écologique

BATESON Gregory, *Steps to an ecology of mind. A revolutionary approach to man's understanding of himself*, New York, Ballantine Books, 1972.

BERNARD Michel, *Le corps*, Paris, Editions Universitaires Jean Pierre Delarge, 1976.

CLARK Andy, *Supersizing the Mind : Embodiment, Action, and Cognitive Extension*, New York, Oxford University Press, 2008.

GIBSON JAMES J., "The Theory of Affordances" in Robert SHAW et John BRANSFORD *Perceiving, Acting, and Knowing: Toward an Ecological Psychology*, Lawrence Erlbaum Associates, New Jersey, 1977, p. 67-82.

HUSSERL Edmund, *L'idée de la phénoménologie : cinq leçons* [1907], Paris, PUF, 1997.

HUSSERL Edmund, *Idées directrices pour une phénoménologie* [1913], Paris, Gallimard, 1985.

HUSSERL Edmund, *La crise de sciences européennes et la phénoménologie transcendantale* (1954), Paris, Gallimard, 1989.

MATURANA Humberto R. et VARELA Francisco J., *Autopoiesis and cognition. The realization of the living* [1972], Dordrecht, D. Reidel, 1980.

MERLEAU-PONTY Maurice, *Phénoménologie de la perception*, Paris, Gallimard, 1945.

MERLEAU-PONTY Maurice, *L'oeil et l'esprit* [1961], Paris, Gallimard, 1985

MERLEAU-PONTY Maurice, *Le visible et l'invisible*, Paris, Gallimard, 1964.

NÖE Alva, *Action in Perception*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2004

NORMAN Donald, "Affordance, conventions, and design" in *Interactions*, 6(3), 1999, p. 38–43.

KROIS John Michael, STEIDELE Angela, ROSENGREN Mats ET WESTERKAMP Dirk (dir.), *Embodiment in cognition and culture*, Amsterdam, John Benjamins Publishing, 2007.

ROWLANDS Mark, *The New Science of the Mind. From Extended Mind to Embodied Phenomenology*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2010.

SHAPIRO Lawrence (dir.), *The Rutledge Handbook of Embodied Cognition*, New York, Routledge, 2014.

THOMPSON Evan et STAPLETON Mog, "Making sense of sense-making: Reflections on enactive and extended mind theories" in *Topoi*, 28(1), 2009, p. 23–30.

VARELA Francisco J., THOMPSON Evan et ROSCH Eleanor, *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*, Cambridge (Massachusetts) MIT Press, 1991.

VON UEXKÜLL Jakob, *Milieu animal et milieu humain* [1934], Paris, Editions Payot & Rivages, 2010.

Cognition Musicale Incarnée

BURGER Brigetta, SAARIKALLIO Suvi, LUCK Geoff, THOMPSON Marc R. et TOIVIAINEN Petri, "Relationships Between Perceived Emotions in Music and Music-induced Movement" in *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 30(5), 2013, p. 517–533.

CASCIATO Carmine, JENSENIUS Alexander R. et WANDERLEY Marcelo M., "Studying free dance movement to music" in *Proceedings of ESCOM 2005 Performance Matters! Conference*, Porto, Portugal, 2005.

CLARKE Erik F., *Ways of Listening: An Ecological Approach to the Perception of Musical Meaning*, New York, Oxford University Press, 2005.

COX Arnie, "Embodying music: Principles of the mimetic hypothesis" in *Music Theory Online*, 17(2), 2011, p. 1-24.

GLOWINSKI Donald, DARDARD Floriane, GNECCO Giorgio, PIANA Stefano et CAMURRI Antonio, "Expressive non-verbal interaction in a string quartet: an analysis through head movements" in *Journal on Multimodal User Interfaces*, 9(1), 2014, p. 55-68

GODØY Rolf Inge, "Motor-Mimetic Music Cognition" in *Leonardo*, MIT Press, 36(4), 2003, p. 317–319.

GODØY Rolf Inge, "Images of Sonic Objects" in *Organised Sound*, Cambridge University Press, 15(1), 2010, p. 54- 62.

GODØY Rolf Inge, et al., "Exploring Sound-Motion Similarity in Musical Experience" in *Journal of New Music Research*, 45(3), 2016, p. 210-222.

HAGA Egil, *Correspondences Between Music and Body Movement*, Thèse de Doctorat en Musicologie, University of Oslo, Oslo, 2008.

HARDJOWIROGO Sarah-Indriyati, "Instrumentality. On the Construction of Instrumental Identity" in BOVERMANN Till et al. (dir.), *Musical Instruments in the 21st Century. Identities, Configurations, Practices*, Singapore, Springer Singapore, 2017, p. 9-24.

NYMOEN Kristian, JENSENIUS Alexander Refsum, TØRRESEN Jim, GLETTE Kyrre HARALD et SKOGSTAD Ståle, "Searching for Cross-Individual Relationships between Sound and Movement Features using an SVM Classifier" in *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME '10)*, Sydney, Australia, 2010, p. 259–262.

KO Yi-Chun, "Espace sensible : une proposition d'expérience somatique à partir de la musique" in *RFIM*, 3, 2013, URL : http://revues.mshparisnord.org/rfim/index.php?id=262

LEMAN Marc, *Embodied music cognition and mediation technology*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2008.

LEMAN Marc, DESMET Frank, STYNS Frederik, VAN NOORDEN Leon et MOELANTS Dirk, "Sharing musical expression through embodied listening: A case study based on Chinese Guqin music" in *Music Perception*, 26(3), 2009, p. 263–278.

LEMAN Marc, DE BRUYN Leen, MAES Pieter Jan, MOENS Bart et NIJS Luc, "Musique et incarnation : le couplage de l'action et de la perception" in WANGERMÉE Robert et RICHELLE Marc (dir.), *Musique et sciences de l'esprit : Actes de colloque*, Bruxelles, Belgique, 2012, p. 109-120.

LEMAN Marc et MAES Pietr-Jan, "The role of embodiment in the perception of music" in *Empirical Musicology Review*, 9(3-4), 2015, p. 236–246.

LESAFFRE Micheline, MAES Pietr-Jan et LEMAN Marc (dir.), *The Routledge Companion to Embodied Music Interaction*, New York, Routledge, 2017.

MAES Pietr-Jan, LEMAN Marc, PALMER Caroline et WANDERLEY Marcelo M., "Action-Based Effects on Music Perception" in *Frontiers in Psychology*, 4(1008), 2014.

MAES Pietr-Jan, VAN DYCK Edith, LESAFFRE Micheline, LEMAN Marc et KROONENBERG Pietr M., "The coupling of action and perception in musical meaning formation" in *Music Perception*, 32(1), 2014, p. 67–84.

MAGNUSSON Thor, "Of Epistemic Tools: musical instruments as cognitive extensions" in *Organised Sound*, 14(2), Cambridge University Press, p. 168-176.

MATYJA Jakub et SCHIAVIO Andrea, "Enactive music cognition: Background and research themes" in *Constructivist Foundations*, 8(3), 2013, p. 351-357.

NIJS Luc, LESAFFRE Micheline et LEMAN Marc, "The musical instrument as a natural extension of the musician" in CASTELLENGO Michele, GENEVOIS Hugues et BARDEZ Jean-Michel (dir.), *Music and its instruments*, Sampzon (France), Editions Delatour, 2013, p. 467-484.

NIJS Luc, "The Merging of Musician and Musical Instrument. Incorporation, Presence, and Levels of Embodiment" in LESAFFRE Micheline, MAES Pietr-Jan et LEMAN Marc (dir.), *The Routledge Companion to Embodied Music Interaction*, New York, Routledge, 2017, p. 49-57.

NYMOEN Kristian, JENSENIUS Alexander Refsum, TØRRESEN Jim et GODØY Rolf Inge, "Analyzing correspondence between sound objects and body motion" in *ACM Transactions on Applied Perception*, 10(2), 2013, p. 1–22.

VISI Federico, SCHRAMM Rodrigo et MIRANDA Eduardo Reck, "Gesture in performance with traditional musical instruments and electronics: Use of embodied music cognition and multimodal motion capture to design gestural mapping strategies" in *MOCO 14: Proceedings of the International Workshop on Movement and Computing*, Paris, France, 2014.

VISI Federico, COOREVITS Esther, SCHRAMM Rodrigo et MIRANDA Eduardo Reck, "Musical instruments, body movement, space, and motion data : music as an emergent multimodal choreography" in *Human Technology: An Interdisciplinary Journal on Humans in ICT Environments*, 13(1), 2017, p. 58-81.

VUOSKOSKI Jonna K., THOMPSON Marc R., CLARKE Eric F. et SPENCE Charles, "Crossmodal interactions in the perception of expressivity in musical performance" in *Attention, Perception, & Psychophysics*, 76(2), 2014, p. 591–604.

Danse et Nouvelles Technologies

AAVV, *Nouvelles de danse : danse et nouvelles technologies*, Bruxelles, Contredanse, 40/41, 1999.

AAVV, *Nouvelles de Danse : interagir avec les technologies numériques*, Bruxelles, Contredanse, 52, 2004.

ALAOUI Sarah Fdili *Analyse du geste dansé et retours visuels par modèles physiques : apport des qualités de mouvement à l'interaction*, Thèse de Doctorat en Informatique, Université de Paris Sud/Ircam, Paris, 2012.

AYLWARD Ryan, LOVELL Daniel et PARADISO Joseph A., "A Compact, Wireless, Wearable Sensor Network for Interactive Dance Ensembles" in *International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks*, Cambridge (Massachusetts), USA, 2006, p. 65–70.

BASTIEN Marion et DELAHUNTA Scott (dir.), *Capturing Intention: documentation, analysis and notation research based on the work of Emio Greco*, Amsterdam, AHK/Lectoraat, 2007.

BEVILACQUA Frédéric, SCHNELL Norbert et ALAOUI SARAH Fdili, "Gesture capture : paradigms in interactive music/dance systems" in Gabriele KLEIN et Sandra NOETH (dir.), *Emerging Bodies. The Performance of Worldmaking in Dance and Choreography*, transcript Verlag, Bielefeld (Germany), 2011.

BIRRINGER Johannes, "Dance and Media Technologies" in *PAJ: A Journal of Performance and Art*, 24(1), MIT Press, 2002, p. 84-93

BIRRINGER Johannes, "Dance and Interactivity" in *Dance Research Journal*, 35/36(1-2), 2004, p. 88-112.

DELAHUNTA Scott, "Virtual Ephemerality: The Art Of Digital Dancing" in *Id.*, *Shifting Interfaces : art research at the intersection of live performance and technology*, Thèse de doctorat, Playmouth University, 2010.

FORSYTHE William, KUCHELMEISTER Volker, HAFFNER Nik et ZIEGLER Christian, *Improvisation technologies : a tool for the analytical dance eye*, Karlsruhe, ZKM, 1999.

JAFFRÉ Olympe, *Danse et nouvelles technologies : enjeux d'une rencontre*, Paris, L'Harmattan, 2007.

MENICACCI Armando et QUINZ Emanuele (dir.), *La scena digitale*, Bolzano, Marsilio Editore, 2001.

MENICACCI Armando et QUINZ Emanuele, "Étendre la perception? Transferts intermodaux et biofeedback en danse" in AAVV, *Nouvelles de danse : scientifiquement danse. Quand la danse puise aux sciences et réciproquement*, Bruxelles, Contredanse, 53, 2006, p. 76-96.

MENICACCI Armando, "[Nouvelles] espèces d'espaces. Réflexion autour du lieu de performance traversé par le numérique" in *Quant à la danse*, Marseille, Images en Manœuvres Éditions, 2006.

MENICACCI Armando, "La machine à fabriquer du geste. Codes, langages et perversion" in *Quant à la danse*, Marseille, Images en Manoeuvres, 5, 2007, p. 48-52.

MENICACCI Armando, "Un interstice impalpable" in AAVV, *Scènes d'architectures. Nouvelles architectures françaises pour le spectacle*, Éditions du Patrimoine, Paris, 2007, p. 18-23.

PITOZZI Enrico, "De la constitution du corps de synthèse sur la scène performative. Perception et technologies" in Renée BOURASSA et Louise POISSANT (dir.), *Personnage virtuel et corps performatif. Effets de présence*, Montréal, Presses de l'Université du Quèbec, 2013, p. 197-231.

PITOZZI Enrico, "Perception et sismographie de la présence" in Josette FÉRAL et Edwige PERROT (dir.), *Le réel à l'épreuve des technologies. Les arts de la scène et les arts médiatiques*, Rennes, Presses universitaires de Rennes, 2013.

PITOZZI Enrico, "Résonances organiques: perception, corporéité, dispositifs audiovisuels. Conversation avec Ginette Laurin" in *Archée*, 2013, URL : http://archee.qc.ca/ar.php?page=article&no=448.

PITOZZI Enrico, "*Bodysoundscape*: the cognition of a movement. A conversation with Robert Wechsler | Palindrome" in *Archée*, 2015 URL : http://archee.qc.ca/ar.php?page=article&no=472.

PITOZZI Enrico, "Body Soundscape Perception, Movement, and Audiovisual Developments in Contemporary Dance" in Yael KADURI (dir.), *The Oxford Handbook of Music, Sound and Image in the Fine Arts*, New York, Oxford University Press, 2016, p. 256-288.

PORTANOVA Stamatia, *Moving without a body. Digital philosophy and choreographic thoughts*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2013.

RUBIDGE Sarah, "Performing Installations: Towards an understanding of choreography and performativity in interactive installations" in Joanne BUTTERWORTH et Lisbeth WILDSCHUT, *Contemporary Choreography : A Critical Reader*, New York, Routledge, 2009, p. 362-376.

SANTANA Ivani, "Experiences and reflections about presence and memory in dance with technological mediation through the situated cognition approach" in *Revista Mapa D2 - Dança e (performance) digital*, 3(2), 2016, p. 11-26.

SCHACHER Jan C., "Motion To Gesture To Sound: Mapping For Interactive Dance" in *Proceedings of the International Conference on New interfaces for Musical Expression (NIME '10)*, Sydney, Australia, 2010.

SIEGEL Wayne et JACOBSEN Jens, "The challenges of interactive dance: an overview and case study" in *Computer Music Journal*, 22(4), MIT Press, 1998, p. 29-43.

SIEGEL Wayne, "Dancing the Music: Interactive Dance and Music" in Roger T. DEAN (dir.), op. cit., p. 191-213.

SPARACINO Flavia, DAVENPORT Glorianna et PENTLAND Alex, "Media in performance : Interactive spaces for dance, theater, circus, and museum exhibits" in *IBM Systems Journal*, 39(3-4), 2000, p. 479-510.

VIAUD-DELMON Isabelle, MASON Jane, HADDAD Karim, NOISTERNIG Markus, BEVILACQUA Frédéric et WARUSFEL Olivier, "A Sounding Body in a Sounding Space: the Building of Space in Choreography. Focus on Auditory-motor Interactions" in *Dance Research: The Journal of the Society for Dance Research*, 29, 2011, p. 433-449

WECHSLER Robert, WEISS Frieder et ROVAN Joseph B. "Artistic Collaboration in an Interactive Dance and Music Performance Environment : Seine hohle Form, a project report COSIGN 2001" in *1st International Conference on Computational Semiotics in Games and New Media*, Amsterdam (Netherlands), 2001, p. 43-47.

WECHSLER Robert, WEISS Frieder et DOWLING et Peter "EyeCon: a motion sensing tool for creating interactive dance, music and video projections" in *Proceedings of the Society for the Study of Artificial Intelligence and the Simulation of Behavior (SSAISB)'s convention: Motion, Emotion and Cognition*, Leeds, UK, 2004, URL : http://www.palindrome.de/content/pubs/leeds.pdf.

WECHSLER Robert, "Mappings - applying the lessons of motion tracking. An open letter to musical collaborators", 2009, URL : http://www.palindrome.de/content/pubs/interact3.pdf.

WINKLER Todd, "Creating Interactive Dance with the Very Nervous System" in *Proceedings of the Connecticut College Symposium on Arts and Technology*, New London (Connecticut), USA, 1997.

WINKLER Todd, "Motion-sensing music: artistic and technical challenges in two works for dance" in *Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC)*, 1998, p. 471-475.

Gestes - Approches Analytiques

MCNEILL David (dir.), *Language and gesture*, Cambridge (UK), Cambridge University Press, 2000.

KENDON Adam, *Gesture: Visible action as utterance*, Cambridge (UK), Cambridge University Press, 2004.

RIMÉ Bernard et SCHIARATURA Loris, "Gesture and speech" In Robert S. FELDMAN et Bernard RIMÉ (dir.), *Fundamentals of nonverbal behavior*, New York, Cambridge University Press, 1991, p. 239-281.

Gestes en musique

BROUGHTON Mary et STEVENS Catherine, "Music, movement and marimba: an investigation of the role of movement and gesture in communicating musical expression to an audience" in *Psychology of Music*, 37(2), 2009, p. 137–153.

CADOZ Claude, "Instrumental gesture and musical composition" in *Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC '88)*, Köln, Germany, 1988, p. 1–12.

CADOZ Claude, "Le geste canal de communication homme-machine. La communication instrumentale" in *Sciences Informatiques - Numéro Spécial: Interface Homme-Machine*, 13(1), 1994, p. 31-61.

CADOZ Claude, "Interface, ergotic. Enaction and enactive interfaces : a handbook of terms" in Claude CADOZ et Anne LUCIANI (dir.), *Enaction and Enactive Interfaces: A Handbook of Terms*, Grenoble, ACROE, 2007, p. 164-167.

CARAMIAUX Baptiste, *Étude sur la relation geste-son en performance musicale*, Thèse de Doctorat en Acoustique, Traitement du Signal et Informatique appliqué à musique, Université Marie Curie - Paris VI / Ircam, Paris, 2012.

CARAMIAUX Baptiste, DONNARUMMA Marco et TANAKA Atau, "Understanding Gesture Expressivity through Muscle Sensing" in *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 21(6), 2015, p. 1–26.

DELALANDE François, "Le Geste, outil d'analyse: quelques enseignements d'une recherche sur la gestique de Glenn Gould " in *Revue Analyse Musicale*, 10, 1988, p. 43-46.

GØDOY Rolf Inge, "Geometry and Effort in Gestural Renderings of Musical Sound" in Miguel SALES DIAS et Sylvie GIBET, op. cit., p. 212.

GØDOY Rolf Inge, HAGA Egil et JENSENIUS Alexander Refsum, "Playing « air instruments » : mimicry of sound-producing gestures by novices and experts" in Sylvie GIBET, Nicolas COURTY et Jean-François KAMP (dir.), *Gesture in Human-Computer Interaction and Simulation*, Berlin-Heidelberg, Springer, 2006, p. 256-267.

GØDOY Rolf Inge, HAGA Egil et JENSENIUS Alexander Refsum, "Exploring music-related gestures by sound-tracing: a preliminary study" in Kia NG (dir.), *Proceedings of the 2nd International Symposium on Gesture Interfaces for Multimedia Systems*, Leeds, UK, 2006, p. 27-33.

GØDOY Rolf Inge, et LEMAN Marc (dir.), *Musical Gestures: Sound, Movement and Meaning*, London-New York, Routledge, 2010.

GRITTEN Anthony et KING Elaine (dir.), *Music and Gesture*, Farnham (England), Ashgate, 2006.

GRITTEN Anthony et KING Elaine (dir.), *New Perspectives on Music and Gesture*, Farnham (England), Ashgate, 2011.

GROND Florian, HERMANN Thomas, VERFAILLE Vincent et WANDERLEY Marcelo M., "Methods for Effective Sonification of Clarinetists' Ancillary Gestures" in KOPP Stefan et WACHSMUTH Ipke (dir.), *Gesture in Embodied Communication and Human-Computer Interaction*, Berlin, Springer-Verlag, 2010, p. 171-181.

LÄHDEOJA Otso, WANDERLEY Marcelo M. et MALLOCH Joseph, "Instrument augmentation using ancillary gestures for subtle sonic effects" in *Proceedings of the SMC 2009 - 6th Sound and Music Computing Conference*, Porto, Portugal, 2009, p. 327–330.

PECKEL Mathieu, *Le lien réciproque entre musique et mouvement étudié à travers les mouvements induits par la musique*, Thèse de Doctorat en Psychologie, Université de Bourgogne, Dijon, 2014.

RASAMIMANANA Nicolas, KAISER Florian et BEVILACQUA Frédéric, "Perspectives on gesture-sound relationships informed from acoustic instrument studies" in *Organised Sound*, Cambridge University Press, 14(2), 2009, p. 208 -216.

SCHUTZ Michael et LIPSCOMB Scott, "Hearing gestures, seeing music: vision influences perceived tone duration" in *Perception*, 36(6), 2007, p. 888–897.

WANDERLEY Marcelo M., *Les Nouveaux Gestes de la Musique*, Paris, IRCAM (Rapport Interne), 1997.

Histoire et Esthétique des Arts numériques

ASCOTT Roy, BAST Gerald, FIEL Wolfgang, JAHRMANN Margarete et SCHNELL Ruth (dir.), *New Realities : Being Syncretic*, Wien, Springer, 2009.

AUSLANDER Philip, *Liveness. Performance in a mediatized culture*, London-New York, Routledge, 1999.

BROADHURST Susan, *Digital Practices. Aesthetic and Neuroesthetic Approaches to Performance and Technology*, New York, Palgrave Macmillan, 2007.

BROADHURST Susan et MACMAHOON Josephine (dir.), *Performance and Technology. Practices of Virtual Embodiment and Interactivity*, New York, Palgrave Macmillan, 2006.

BROADHURST Susan et MACMAHOON Josephine (dir.), *Identity, Performance and technology. Practices of empowerment, embodiment and technicity*, New York, Palgrave Macmillan, 2012.

BUCI-GLUCKSMANN Christine (dir.), *L'art à l'époque du virtuel*, Paris, L'Harmattan, 2003.

CHRISTOU Maria, *Enaction, interaction multisensorielle : théorie, technologie et expériences pour les arts numériques*, Thèse de Doctorat en Ingénierie de la Cognition, de l'Interaction, de l'Apprentissage et de la Création, Université de Grenoble, Grenoble, 2014.

DAVIES Char, "Osmose: notes on being in immersive virtual space" in Colin BEARDON et MALBORG Lone (dir.), *Digital Creativity*, 9(2), Lisse, (Netherlands), Swets & Zeitlinger, 1998.

DAVIES Char, "Virtual space" in Robert HOWELL, François PENZ et Gregory RADICK (dir.), *Space: in science, art and society*, Cambridge (England), Cambridge University Press, 2004.

DIXON Steve, *Digital Performance. A history of new media in theater, dance, performance art, and installation*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2007.

DORUFF Sher, "The Tendency to 'Trans-': The Political aesthetics of the Biogrammatic zone" in CHATZICHRISTODOULOU Maria, JEFFERIES Janis et ZERIHAN Rachel, *Interfaces of Performance*, Farnahm (UK), Ashgate, 2009, p. 138-140.

DYSON Frances, *Sounding New Media. Immersion and Embodiment in the Arts and Culture*, Berkeley-Los Angeles, University of California Press, 2009.

FISCHER Hervé, "Les beaux-arts numériques" in *Espace : Art actuel*, n° 92, 2010.

GRAU Olivier, *Virtual Art. From illusion to immersion* [2001], Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2003.

JESSOP Naomi E. et TORPEY Peter A., "Disembodied Performance" in *Proceedings of CHI '09 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, Boston (Massachusetts), USA, 2009, p. 3685-3690.

KAHN Douglas, *Earth Sound Earth Signal. Energies and Earth Magnitude in the Arts*, Berkeley-Los Angeles, University of California Press, 2013.

KWASTEK Katja, *Aesthetics of interaction in digital art*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2013.

KWASTEK Katja, "Immersed in Reflection? The Aesthetic Experience on Interactive Media Art" in DOGRAMACI Burcu et LIPTAY Fabienne (dir.), *Immersion in the Visual Arts and Media*, Leiden (Netherlands), Brill, 2016, p. 77-86.

LARRUE Jean-Marc (dir.), *Théâtre et intermédialité*, Villeneuve d'Ascq, Presses universitaires du Septentrion, 2015.

MCROBERT Laurie, *Char Davies' immersive virtual art and the essence of spatiality*, Toronto-Buffalo-London, University of Toronto Press, 2007.

QUINZ Emanuele, "Seuil de mutation. Notes sur la notion d'interface", in *Interfaces*, Anomos, 2003.

QUINZ Emanuele, "Les strates de l'interface" dans *Bil BO K Magazine des errances* contemporaines, 27, 2006.

RICHARDSON John, GORBMAN Claudia et VERNALLIS Carol (dir.), *The Oxford Handbook of New Audiovisual Aesthetics*, New York, Oxford University Press, 2013.

ROKEBY David, "Transforming mirrors: subjectivity and control in interactive media" in PENNY Simon (dir.), *Critical issues in electronic media*, Albany (New York), State University of New York Press, 1995.

RUBIDGE Sarah et MACDONALD Alistair "Sensuous Geographies - a multi-user interactive/responsive installation" in *Digital Creativity*,15(4), 2004, p. 245–252.

SALTER Christopher, *Entangled. Technology and the transformation of performance*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2010.

SMITH Marquard (dir.), *Stelarc: the monograph*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2005.

STELARC, "Hollow body/host space : Stomach sculpture" in *Cultural Values*,1(2),1997, p. 250-251.

Histoire, Esthétique et Théorie de la Danse

BERNARD Michel, *De la création chorégraphique*, Paris, Centre national de la danse, 2001.

CAZEMAJOU Anne, "Analyse du mouvement. Une nouvelle vision du corps en mouvement", Centre National de la Danse, Rapport Interne, 2005, URL : http://lacomediedeclermont.com/saison2015-2016/wp-content/uploads/2015/07/Analyse-du-mouvement-CND.pdf .

COPELAND Roger, *Merce Cunningham. The modernizing of Modern Dance*, London-New York, Routledge, 2004.

FISCHER-LICHTE Erika, *The transformative power of performance. A new aesthetics* [2004], London-New York, Routledge, 2008.

GINOT Isabelle, "Discours, techniques du corps et technocorps" in GIOFFREDI Paule (dir.), *A la rencontre de la danse contemporaine : porosités et résistances*, Paris, L'Harmattan, 2009, p. 265-293.

GINOT Isabelle, "Écouter le toucher" in *Chimères*, 78(3), 2012, p. 87-100.

GODARD Hubert, "Le Poids de Trans-actions" in *Age du corps, maturité en danse*, Édition Le Cratère d'Alès Scène Nationale, 1997, p. 7-15.

GODARD Hubert, "Le geste et sa perception" in GINOT Isabelle et MICHEL Marcel (dir.), *La danse au XXe siècle*, Paris, Larousse, 1998, p. 224-229.

ESKHOL Noa et WACHMAN Avraham, *Movement Notation*, Weidenfeld and Nicolson, 1958.

KUYPERS Patricia, "Des trous noirs. Un entretien avec Hubert Godard" in AAVV, *Nouvelles de danse : scientifiquement danse. Quand la danse puise aux sciences et réciproquement*, Bruxelles, Contredanse, 53, 2006, p. 62-63.

LABAN Rudolf et LAWRENCE F.C. [1947], *Effort. Economy of human movement*, London, Macdonald & Evans, 1974.

LABAN Rudolf, *Choreutics*, Southwold, Dance Books Ltd., 1966.

LOUPPE Laurence, *La poétique de la danse contemporaine*, Bruxelles, Contredanse, 1997.

NOVACK Cynthia J., *Sharing the Dance: Contact Improvisation and American Culture*, Madison (Wisconsin), University of Wisconsin Press, 1990, p. 22-62.

SPIER Steven (dir.), *William Forsythe and the practice of choreography : it starts from any point*, London-New York, Routledge, 2011.

VAN DYK Katharina, "Usages de la phénoménologie dans les études en danse" in *Recherches en danse*, 1, 2014, URL : http://danse.revues.org/607 .

VIEIRA Marcilio S., "Approches Somatiques du Corps dans la Danse" in *Revista Brasileira de Estudos da Presença*, 5(1), 2015, p. 127-147.

Hyperinstruments

BEVILACQUA Frédéric, BASCHET Florence et LEMOUTON Serge, "The augmented string quartet : experiments and gesture following", in *Journal of New Music Research*, 41(1), 2012, p. 103-119.

FERGUSON Sam, "Hyper-shaku (Border-Crossing): towards the multi-modal gesture-controlled hyper-instrument" in *Proceedings of the International Conference on New interfaces for Musical Expression (NIME '06)*, Paris, France, 2006, p. 352-357

FREED Adrian, UITTI Frances Marie, WESSEL David et ZBYSZYNSKI Michael, "Augmenting the cello" in *Proceedings of the International Conference on New interfaces for Musical Expression (NIME '06)*, Paris, France, 2006, p. 409-413.

KANGA Zubin, "Building an instrument in the collaborative composition and performance of works for piano and live electronics" in Robert BURKE and Andrys OSMAN (dir.), *Perspectives on Artistic Research in Music*, Lanham (Maryland), Lexington Books, 2017, p. 103-118.

KAPUR Ajay, SINGER Eric, BENNING Manjinder S. et TZANETAKIS George, "Integrating hyperinstruments, musical robots & machine musicianship for North Indian classical music" in *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME '07)*, New York, USA, 2007, p. 238-241.

MACHOVER Tod, *Hyperinstruments. A progress report 1987-1991*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 1992.

NICOLLS Sarah, "Seeking Out the Spaces Between: Using Improvisation in Collaborative Composition with Interactive Technology" in *Leonardo Music Journal*, MIT Press, 2010, p. 47-55.

PALACIO-QUINTIN Cléo, "Eight Years of Practice on the Hyper-Flute: Technological and Musical Perspectives" in *Proceedings of the International Conference on New interfaces for Musical Expression (NIME '08)*, Genoa, Italy, 2008, p. 293-298.

PALACIO-QUINTIN Cléo, "Composition interactive : du geste instrumental au contrôle de l'électronique dans Synesthesia 4 : Chlorophylle" in *Circuit : musiques contemporaines*, 22(1), 2012, p. 25-40.

YOUNG Diane, "The Hyperbow Controller: Real-Time Dynamics Measurement of Violin Performance" in *Proceedings of the International Conference on New interfaces for Musical Expression (NIME '02)*, Dublin, Ireland, 2002.

YOUNG Diane et ESSL Georg, "HyperPuja: A Tibetan Singing Bowl Controller" in *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME '03)*, Montréal, Canada, 2003, p. 9-14

YOUNG Diane, NUNN Patrick et VASSILIEV Artem, "Composing for Hyperbow: A Collaboration Between MIT and the Royal Academy of Music" in *Proceedings of the International Conference on New interfaces for Musical Expression (NIME '06)*, Paris, France, 2006, p. 396-401.

Informatique Musicale - Mapping

CAMURRI Antonio, VOLPE Gualtiero, DE POLI Giovanni et LEMAN Marc, "Communicating Expressiveness and Affect in Multimodal Interactive Systems" in *IEEE Multimedia*, 12(1), 2005, p. 43–53.

CARAMIEUX Baptiste, MONTECCHIO Nicola, TANAKA Atau et BEVILACQUA Frédéric, "Adaptive Gesture Recognition with Variation Estimation for Interactive Systems" in *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems*, 4(4), 2014, p. 18-51.

DI SCIPIO Agostino, "Sound is the interface : from interactive to ecosystemic signal processing" in *Organised Sound*, Cambridge University Press, 8(3), 2003, p. 269-277.

FRANÇOISE Jules, SCHNELL Norbert et BEVILACQUA Frédéric, "Gesture-based control of physical modeling sound synthesis : a Mapping-by-Demonstration Approach" in *Proceedings of the 21st ACM international conference on Multimedia (MM'13)*, Barcelona (Spain), 2013, p. 447-448.

HERMANN Thomas, HÖNER Oliver et RITTER Helge, "AcouMotion – An Interactive Sonification System for Acoustic Motion Control" in GIBET Sylvie, COURTY Nicolas, KAMP Jean-François (dir.), *Gesture in Human-Computer Interaction and Simulation 6th International Gesture Workshop*, Berlin, Springer-Verlag, 2005, p. 312-323.

HUNT Andy, WANDERLEY Marcelo M. et KIRK Ross, "Towards a Model for Instrumental Mapping in Expert Musical Interaction" in *ICMC: International Computer Music Conference*, Berlin, Germany, 2000.

HUNT Andy et WANDERLEY Marcelo M., "Mapping performer parameters to synthesis engines" in *Organised Sound*, 7(2), Cambridge University Press, 2002, p. 97–108.

HUNT Andy, WANDERLEY Marcelo M. et PARADIS Matthew, "The importance of Parameter Mapping in Electronic Instrument Design" in *Journal of New Music Research*, 32(4), 2003, p. 88–93.

MODLER Paul, "Neural Networks for Mapping Hand Gestures to Sound Synthesis parameters" in WANDERLEY Marcelo M. et BATTIER Marc (dir.), *Trends in Gestural Control of Music*, Paris, IRCAM - Centre Pompidou, 2000, p. 301–314.

MOMENI Ali et HENRY Cyrille, "Dynamic Independent Mapping Layers for Concurrent Control of Audio and Video Synthesis" in *Computer Music Journal*, 30(1), MIT Press, 2006, p. 49-66.

MULDER Alex, "Towards A Choice of Gestural Constraints for Instrumental Performers" in Marcelo M. Wanderley et M. Battier (dir.), *Trends in Gestural Control of Music*, Paris, IRCAM - Centre Pompidou, 2000, p. 315-335.

MURRAY-BROWNE Tim, MAINSTONE Di, BRYAN-KINNS Nick et PLUMBLEY Mark D., "The Medium is the Message: Composing Instruments and Performing Mappings" in *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME '11)*, Oslo, Norway, 2011, p. 56-59.

ROVAN Joseph B., WANDERLEY Marcelo M., SHLOMO Dubnov et DEPALLE Philippe, "Instrumental Gestural Mapping Strategies as Expressivity Determinants in Computer Music Performance" in *Proceedings of the AIMI International Workshop: KANSEI-The Technology of Emotion*, Genova, Italy, 1997, p. 68-73.

SALTER Christopher L., BAALMAN Marije A.J. et MOODY-GRIGSBY Daniel, "Between Mapping, Sonification an Composition : Responsive Audio Environments in Live Performance" in KRONLAND-MARTINET Richard, YSTAD Sølvi et JENSEN Kristoffer (dir.), *Computer Music Modeling and Retrieval. Sense of Sounds*, Berlin, Springer-Verlag, 2008.

VERFAILLE Vincent, ARFIB Daniel, COUTURIER Jean-Michel et KESSOUS Loïc, "Strategies of mapping between gesture parameters and synthesis model parameters using perceptual spaces" in *Organised Sound*, Cambridge University Press, 7(2), 2002, p. 135–52.

VERFAILLE Vincent, WANDERLEY Marcelo M. et DEPALLE Philippe, "Mapping Strategies for Gestural and Adaptive Control of Digital Audio Effects" in *Journal of New Music Research*, 35, 2006, p. 71-93.

WANDERLEY Marcelo M. et DEPALLE Philippe, "Gestural control of sound synthesis" in *Proceedings of the IEEE - Supervisory Control and Auditory Communication*, 92(4), 2004, p. 632 - 644.

WANDERLEY Marcelo M. et MALLOCH Jospeh, "Editors' Notes" in *Computer Music Journal*, 38(3), MIT Press, 2014, p. 4–5.

ZEN Heiga, NANKAKU Yoshihiko et TOKUDA Keiichi, "Continuous Stochastic Feature Mapping Based on Trajectory HMMs" in *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 19(2), 2011, p. 417–430.

Informatique Musicale - Systèmes Interactifs et Environnements multimédias

BAISNÉE Pierre-François, BARRIÈRE Jean-Baptiste, KOECHLIN Olivier et ROWE Robert, "Real-time Interaction between Musicians and Computer: Live Performance Utilisations of the 4X Musical Workstation" in *Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC)*, 1986, p. 237-239.

CHADABE Joel, "Interactive composing: An overview" in Curtis Roads (dir.), *The music machine: Selected readings from computer music journal*, MIT Press, 1989, p. 143-148.

COLLINS Nick, "Virtual Musicians and Machine Learning" in Karen COLLINS, Bill KAPRALOS et Holly TESSLER (dir.), *The Oxford Handbook of Interactive Audio*, New York, Oxford University Press, 2014, p. 350-363.

DOMBOIS Florian et ECKEL Gerhard, "Audification" in Thomas HERMANN, Andy HUNT et John G. NEUHOFF (dir.), *The Sonification Handbook*, Berlin, Logos Publishing House, 2011, p. 301–324.

LECHNER Patrik, *Multimedia Programming Using Max/MSP and TouchDesigner*, Birmingham, Packt Publishing, 2014.

PACHET François, "Musical interaction with style" in *Journal of Music Research*, 32(3), 2003, p. 333-341.

PEJROLO Andrea, *Creative sequencing techniques for music production. A partial guide to Pro Tools, Logic, Digital Performer and Cubase* (2005), Oxford, Elsevier, 2011.

ROWE Robert, *Machine Musicienship*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2001.

SCHEDEL Margaret, "softVNS 2 Real Time Video Processing and Tracking Software" in *Computer Music Journal*, MIT Press, 29(4), 2005, p. 97-98.

SEDES Anne, COURRIBET Benoit et THIEBAUT Jean-Baptiste, "From the Visualization of Sound to Real-Time Sonification: Different Prototypes in the Max/MSP/Jitter Environment" *Proceedings of the 2004 International Computer Music Conference*, San Francisco, International Computer Music Association, 2004, p. 371–374.

VERCOE Berry, "The synthetic performer in the context of live performance", in *Proceedings of the International Computer Music Conference*, Paris, 1984, URL : http://web.media.mit.edu/~bv/papers/synthetic%20performer.pdf.

WINKLER Todd, *Composing interactive music. Techniques and ideas using Max*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 1998.

Interaction Homme-Machine

BRYANT Randal E. et O'HALLARON David R., *Computer systems. A programmer's perspective*, Upper Saddle River (New Jersey), Prentice Hall, 2001.

CATARCI Tiziana, COSTABILE Maria F., LEVIALDI Stefano et BATINI Carlo, "Visual query systems for databases: a survey" in *Journal of Visual Languages & Computing*, 8(2), Amsterdam, Elsevier, 1997, p. 215-260.

JAIMES Alejandro, GATICA-PEREZ Daniel, SEBE Nicu et HUANG Thomas S., "Human Centered Computing : Toward a Human Revolution" in *IEEE Computer Society*, 40(5), 2007, p. 30-34.

JAIMES Alejandro et SEBE Nicu, "Multimodal human–computer interaction: A survey" in *Computer Vision and Image Understanding*, 108(1-2), 2007, p. 116-134

LUSTED Hugh et KNAPP Benjamin, "Controlling Computers with Neural Signals" in *Scientific American*, 275(4), 1996, p. 82-87.

MICHALSKI Ryszard S., CARBONELL Jaime G. et MITCHELL Tom M., "An Overview of Machine Learning" in MICHALSKI Ryszard S., CARBONELL Jaime G. et MITCHELL Tom M., (dir.), *Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach* [1983], Amsterdam, Elsevier, 2004, p. 2-23.

MINSKY Marvin, *The society of minds*, New York, Touchstone, 1986.

MOLES Abraham, *Théorie de l'information et perception esthétique*, Paris, Flammarion, 1958.

MYERS Brad A., "A brief history of human–computer interaction technology" in *Interactions*, 5(2), 1998, p. 44–54.

PREMARATNE Prashan, *Human Computer Interaction Using Hand Gestures*, Singapore, Springer-Verlag, 2014.

SALOMON David, *A concise introduction to data compression*, London, Springer-Verlag, 2008.

SHANNON Claude E., "A Mathematical Theory of Communication" in *Bell System Technical Journal*, 27, 1948, p. 379-423.

SHANNON Claude E., "Communication in the presence of noise" in *Proceedings of the Institute of Radio Engineers*, 37(1), 1949, p. 10–21.

SHARMA Ram P. et VERMA Gyanendra K., "Human Computer Interaction using Hand Gesture" in *Procedia Computer Science*, 54, 2015, p. 721-727

SOTIROPOULOS Dionisios N. et TSIHRINTZIS George A., *Machine Learning Paradigms: Artificial Immune Systems and their Applications in Software Personalization*, Cham (Switzerland), Springer International, 2017.

TURING Alain, "On computable numbers", in *Proceedings of the London Mathematical Society* 42(2), 1937, p. 230-265.

TZAFESTAS Spyros G., *Human and nature minding automation. An overview of concepts, methods, tools and applications*, Dordrecht, Springer-Verlag, 2010.

WIENER Norbert [1948], *Cybernetics or the control and communication in the animal and the machine*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 1961.

WOLFRAM Stephen, "Statistical mechanics of cellular automata" in *Reviews of Modern Physics*, (55)3, 1983, p. 601-644.

Musicologie du XX^{ème} siècle e du XXI^{ème} siècle

AUSTIN Larry, GURUSINGHE Nilendra et KAHN Douglas, *Source : music of the avant-garde, 1966–1973*, Los Angeles, University of California Press, 2011.

BONARDI Alain et ROUSSEAUX Francis, "Interactions médiatisées sur scène" in *Technique et science informatiques*, Hermès Lavoisier. Vol. 29(8), 2010, p. 871-888.

BONARDI Alain et ROUSSEAUX Francis, "L'émergence de pratiques musicales a-musicologiques" in *Musiker Cuadernos de mùsica*, 2011, p. 99-115.

BOULEZ Pierre, *Relevés d'apprenti*, Paris, Seuil, 1966.

CAPORALETTI Vincenzo, *I processi improvvisativi nella Musica. Un approccio globale*, Lucca, LIM, 2005.

CAPORALETTI Vincenzo, "La théorie de la musique audiotactile et ses relations avec l'improvisation dans la musique contemporaine" in *Filigrane*, Éditions Delatour, 8, 2008, p. 101-128.

CASTELLANI Felipe M. et SÈDES Annes "Extension du musical vers l'intermédialité : analyses des approches de Thierry de Mey et de Georges Aperghis" in *Actes des Journées d'Informatique Musicale*, Saint Denis, Université Paris 8, 2013, URL : http://www.mshparisnord.fr/JIM2013/actes/jim2013_13.pdf

CHION Michel, *Guide des objets sonores. Pierre Schaeffer et la recherche musicale*, Paris, Éditions Buchet/Chastel, 1983.

CHION Michel, *L'Audio-Vision*, Paris, Nathan-Université, 1990.

COTT Jonathan, *Stockhausen : conversation with the composer*, London, Robson, 1974.

DELIÈGE Irène et SLOBODA John (dir.), *Perception and Cognition of Music*, Hove (UK), Psychology Press, 1997.

DONIN Nicolas et STIEGLER Bernard, "Le tournant machinique de la sensibilité musicale" in *Cahiers de médiologie : Révolutions industrielles de la musique*, 18, 2004, p. 7-17.

KOSMICKI Guillaume, *Musiques électroniques : Des avant-gardes aux dance floors*, Marseille, Le mot et le reste, 2009.

LALIBERTÉ Martin, "Le compositeur et son dispositif" in LEBLANC Gérard et THOUARD Sylvie (dir.), *Numérique et transesthétique*, Villeneuve-d'Ascq, Presses Universitaires du Septentrion, 2012 p. 193-215.

MUMMA Gordon, *Cybersonic Arts: Adventures in American New Music*, Champaign (Illinois), University of Illinois Press, 2015.

NONO Luigi, *Scritti e colloqui. Volume II*, textes établis par Angela I. DE BENEDICTIS et Venerio RIZZARDI, Lucca, Ricordi-LIM, 2001.

RODGERS Tara, *Pink Noises. Women on Electronic Music and Sound*, Durham (North Carolina), Duke University Press, 2010.

SAVAGE Jon, *Machine soul : une histoire de la musique techno*, Paris, Éditions Allia, 2011.

SCHAEFFER Pierre, *Traité des objets musicaux* [1966], Éditions du Seuil, Paris, 1977.

SMALLEY Dennis, "Spectromorphology: explaining sound-shapes " in *Organised Sound*, 2(2), Cambridge University Press, 1997, p. 107–126.

STUCKENSCHMIDT Hans-Heinz, "The third stage. Some observations on the aesthetics of electronic music" [1955] in EIMERT Herbert et STOCKHAUSEN Karlheinz (dir.), *Die Reihe vol.1. : Electronic Music*, Pennsylvania, Theodore Presser Company, 1958.

TRUBERT Jean-François et BELLER Grégory, "Luna Park (2011) : An Aesthetics of Shock" in *Contemporary Music Review*, 35(4–5), 2016, p. 500–534.

Nouvelles Interfaces pour l'Expression Musicale

Eric BOYER, BEVILACQUA Frédéric, PHAL François et HANNETON Sylvain, "Low-cost motion sensing of table tennis players for real time feedback" in *International Journal of Table Tennis Sciences*, 8, 2013, p.1-4.

CERANA Carlos, "Gesture control of musical processes: a MAX environment for Buchla's Lightning" in *Organised Sound*, Cambridge University Press, 5(1), 2000, p. 3-7.

COLLICUTT Mike, CASCIATO Carmine et WANDERLEY Marcelo M., "From real to virtual: A comparison of input devices for percussion tasks" in *Proceedings of the International Conference on New interfaces for Musical Expression (NIME '09)*, Pittsburg (PA), USA, 2009, p. 1-6.

DE LAUBIER Serge, "The meta-instrument" in *Computer Music Journal*, MIT Press, 22(1), 1998, p. 25-29.

DE LAUBIER et GOUDARD Vincent, "Meta-Instrument 3: a look over 17 years of practice" in *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME '06)*, Paris, France, 2006, p. 288-291.

DONNARUMMA Marco, "Incarnated Sound in Music for Flesh II. Defining Gesture in Biologically Informed Musical Performance" in *Leonardo Electronic Almanac*, 8(3), 2012, p. 64–75.

DONNARUMMA Marco, "Biophysical music: sound and video anthology" in *Computer Music Journal*, 39(4), MIT Press, 2015, p. 132-138.

DONNARUMMA Marco, *Configuring Corporeality. Performing Bodies, Vibrations and New Musical Instruments*, Thèse de Doctorat en Music Computing, Goldsmith University, London, 2016.

JENSENIUS Alexander Refsum et LYONS Michael J. (dir.), *A NIME reader. Fifteen years of new interfaces for musical expression*, Cham (Switzerland), Springer International Publishing, 2017.

JORDÀ Sergi, "Sonigraphical instruments: from FMOL to the reacTable" in *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME '03)*, Montreal, Canada, 2003, p. 70–76.

KIEFER Chris, COLLINS Nick et FITZPATRICK Geraldine, "HCI Methodology For Evaluating Musical Controllers : A Case Study" in *Proceedings of the Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME '08)*, 2008, Genova, Italy, p. 87–90.

LALIBERTÉ Martin, "Archétypes et paradoxes des nouveaux instruments" in *Le Nouveaux Gestes de la Musique*, Marseille, Parenthèses, 1999, p. 121-138

LESLIE Grace, SCHWARZ Diemo, WARUSFEL Olivier, BEVILACQUA Frédéric, ZAMBORLIN Bruno, JODLOWSKI Pierre et SCHNELL Norbert, "Grainstick: a Collaborative, Interactive Sound Installation" in *Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC '10)*, New York, 2010.

LINDSAY Vickery, "The Yamaha Miburi MIDI jump suit as a controller for STEIM's Interactive Video software Image/ine" in *Proceedings of the Australian Computer Music Conference (ACMA '02)*, Melborne, Australia, 2002, p. 181-188.

MARSHALL Mark T. et WANDERLEY Marcelo M. "Evaluation of sensors as input devices for computer music interfaces" in KRONLAND-MARTINET Richard, VOINIER Thierry et YSTAD Sølvi, *Proceedings of Computer Music Modeling and Retrieval conference (CMMR 2005)*, Berlin, Springer-Verlag, 2006, p. 130– 139.

MARSHALL Mark T., HARTSHORN Max, WANDERLEY Marcelo M. et LEVITIN Daniel J., "Sensor choice for parameter modulations in digital musical instruments: Empirical evidence from pitch modulation" in *Journal of New Music Research*, 38(3), 2009, p. 241–253.

MATHEWS Max V., "The Radio Baton and Conductor Program, or: Pitch, the Most Important and Least Expressive Part of Music" in *Computer Music Journal*, MIT Press,15(4), 1991, p. 37-46.

MIRANDA Eduardo R. et WANDERLEY Marcelo M., *New digital musical instruments: control and interaction beyond the keyboard*, Middleton (Wisconsin), A-R Editions, 2006.

MIRANDA Eduardo R., "Brain–Computer Music Interfacing: Interdisciplinary Research at the Crossroads of Music, Science and Biomedical Engineering" in Eduardo R. MIRANDA et Julien CASTANET (dir.), *Guide to Brain-Computer Music Interfacing*, London, Springer-Verlag, 2014, p. 1-27.

OJANEM Mikko, "Design Principles and User Interfaces of Erkki Kurenniemi's Electronic Musical Instruments of the 1960's and 1970's" in *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME '07)*, New York, USA, 2007, p. 88-93.

O'MODHRAIN Sile, "A Framework for the Evaluation of Digital Musical Instruments" in *Computer Music Journal*, MIT Press, 35(1), 2011, p. 28–42.

PAINE Garth, " Towards unified design guidelines for new interfaces for musical expression" in *Organised Sound*, Cambridge University Press, 14(2), 2009, p. 142-155.

PARADISO Joseph A. et MARRIN Teresa, "The Digital Baton: a Versatile Performance Instrument" in *International Computer Music Conference (ICMC '97)*, 1997, Thessaloniki, Greece, p. 313-316.

PARADISO Joseph A., ABLER Craig, HSIAO Kai-Yuh, et REYNOLDS Matthew, "The magic carpet : physical sensing for immersive environments" in *Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '97)*, Atlanta (Georgia), USA, 1997.

PARADISO Joseph A., "The Brain Opera Technology: New Instruments and Gestural Sensors for Musical Interaction and Performance" in *Journal of New Music Research,* 28(2), 1999, p. 130-149.

PARADISO Joseph A., HSIAO Kai-Yuh, BENBASAT Ari et TEEGARDEN Zoe,"Designing for expressive footwear" in *IBM Systems Journal*, 39(3/4), 2000, p. 1-19.

PARADISO Joseph A., HSIAO Kai-Yuh, STRICKON Joshua et RICE Peter, "New sensor and music systems for large interactive surfaces" in *Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC '00)*, 2000, p. 277-280.

PARADISO Joseph A., LEO Che King, CHECKA Nisha et HSIAO Kaijen, "Passive Acoustic Sensing for Tracking Knocks Atop Large Interactive Displays" in *Proceedings of the IEEE Sensors Conference*, Orlando (Florida), 2002, p. 521-527.

PARADISO Joseph A., PARDUE Laurel S., HSIAO Kai-Yuh, et BENBASAT Ari Y., "Electromagnetic Tagging for Electronic Music Interfaces" in *Journal of New Music Research*, 32(4), 2003, p. 395–409.

PENG Lijuan et GERHARD David, "A Wii-based gestural interface for computer conducting systems" in *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME '09)*, Pittsburgh (Pennsylvania), USA, 2009, p. 158-159.

PRAS Amandine, GHAMSARI-ESFAHANI Mahtab et WANDERLEY Marcelo M., "Combining musical tasks and improvisation in evaluating novel Digital Musical Instruments" in *International Symposium on Computer Music Multidisciplinary Research (CMMR13)*, Marseille (France), 2013.

RASAMIMANANA Nicolas, BEVILACQUA Frédéric, SCHNELL Norbert, GUEDY Fabrice, FLETY Emmanuel, MAESTRACCI Come, ZAMBORLIN Bruno, FRECHIN Jean-Louis et PETREVSKI Urso, "Modular musical objects towards embodied control of digital music" In *Fifth International Conference on Tangible in Embedded and Embodied Interaction*, Funchal, Portugal, 2011, p. 9-12.

Nicolas RASAMIMANANA, BEVILACQUA Frédéric, Bloit Julien, SCHNELL Norbert, FLETY Emmanuel, Cera Andrea, FRECHIN Jean-Louis, et PETREVSKI Urso, "The Urban Musical Game: Using Sport Balls as Musical Interfaces" in *CHI '12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, Austin (Texas), USA, 2012, p. 1027-1030.

RYAN Joel, "Some remarks on musical instrument design at STEIM" in *Contemporary Music Review*, 6(1), 1991, p. 3-17.

SUNG Zehn, "Daft-Datum - An interface for producing music through foot-based interaction" in *Proceedings of the Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME '11)*, Oslo, Norway.

TANAKA Atau et KNAPP Bejamin, "Multimodal Interaction in Music Using the Electromyogram and Relative Position Sensing" in *Proceedings of the international conference on new interfaces for musical expression (NIME '02)*, Dublin, Ireland, 2002, p. 171-176.

TANAKA Atau, "Musical technical issues in using interactive instrument technology with application to the BioMuse" in *Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC '93)*, Tokyo, Japan, 1993, p. 124-126.

TANAKA Atau, "Sensor-based musical instruments and interactive music" in Roger T. DEAN (dir.), *The Oxford Handbook of Computer Music*, New York, Oxford University Press, 2009, p. 246-247.

TANAKA Atau, "BioMuse to Bondage: corporeal interaction in performance and exhibition" in CHATZICHRISTODOULOU Maria et ZERIHAN Rachel (dir.), *Intimacy : Across Visceral and Digital Performance*, New York, Palgrave Mcmillan, 2012, p. 159-171.

TANAKA Atau, "The Use of Electromyogram Signals (EMG) in Musical Performance: A personal survey of two decades of practice" in *eContact! Biotechnological Performance Practice / Pratiques de performance biotechnologique*, Montéal, 2012.

TORRE Giuseppe, ANDERSEN Kristina et BALDÉ Frank, "The Hands: The Making of a Digital Musical Instrument" in *Computer Music Journal*, MIT Press, 40(2), 2016, p. 22–34.

WAISVISZ Michel, "The Hands: A Set of Remote MIDI-Controllers" in *Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC '85)*, San Francisco, International Computer Music Association, p. 313–318.

WANDERLEY Marcelo M. et ORIO Nicola, "Evaluation of Input Devices for Musical Expression: Borrowing Tools from HCI" in *Computer Music Journal*, MIT Press, 26(3), 2002, p. 62-76.

YOO Min-Joon, BEAK Jin-Wook et LEE In-Kwon, "Creating Musical Expression using Kinect" in *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME '11)*, Oslo, Norway, 2011, p. 324-325.

ZÉNOUDA Hervé, "Nouvelles organologies du sonore : les audio-games" in GOBERT Thierry (dir.), *Interfaces numériques. Convivialité et dispositifs. De l'ordinateur à l'ordiphone et la tablette*, 1(3), Éditions design numérique, 2012, p. 521-545.

Pédagogie de la Danse et Nouvelles Technologies

CAMURRI Antonio, CANEPA Corrado, FERRARI Nicola, MANCINI Maurizio, NIEWIADOMSKI Radoslaw, PIANA Stefano, VOLPE Gualtiero, MATOS Jean-Marc, PALACIO Pablo et ROMERO Muriel "A system to support the learning of movement qualities in dance : a case study on dynamic symmetry" in *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, New York, ACM Press, 2016, p. 973-976.

CHERRY Gina, FOURNIER Janice et REED Stevens, "Using a digital video annotation tool to teach dance composition" in *Interactive Multimedia Journal of Computer Enhanced Learning*, 5, 2003 : http://imej.wfu.edu/articles/2003/1/01/index.asp

DANIA Aspasia, HATZIHARISTOS Dimitrios, KOUTSOUBA Maria et TYROVOLA Vasiliki, "The use of technology in movement and dance education: recent practices and future perspectives" in *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 15, 2011, p. 3355–3361.

EVERSMAN Peter, "Education-Performing arts-Information technology : an impossible triangle?" in NESI Paolo et SANTUCCI Raffaella (dir.), *Information technologies for performing arts, media access, and entertainment*, Berlin, Springer-Verlag, 2013, p. 175-191.

KÄLLBLAD Anna, FRIBERG Anders, SVENSSON Karl et EDELHOM Elisabet Sjöstedt, "Hoppsa Universum – An interactive dance installation for children" in *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME '08)*, Genova, Italy, 2008, p. 128-133.

KARKOU Vicky, BAKOGIANNI Sophia et KAVAKLI Evangelia, "Traditional dance, pedagogy and technology: an overview of the WebDANCE project" in *Research in Dance Education* 9(2), 2008, p. 163-186.

PARRISH Mila, "Technology in Dance Education" in *International Handbook of Research in Arts Education*, Cham (Switzerland), Springer International, 2007, p. 1381-1397.

RISNER Doug et ANDERSON Jon, "Digital Dance Literacy: an integrated dance technology curriculum pilot project 1" in *Research in Dance Education* 9(2), 2008, p. 113-128.

Pédagogie Musicale et Nouvelles Technologies

ADDESSI Anna Rita, "Child/machine interaction in reflexive environment. The MIROR platform" in *Proceedings of the Sound and Music Computing Conference*, Berlin, Logos Verlag Berlin GmbH, 2013, p. 95-102.

ADDESSI Anna Rita, CARDOSO Rosane, MAFFIOLI Marina, REGAZZI Fabio, VOLPE Gualtiero et VARNI, Giovanna, "The MIROR-Body Gesture: Designing a reflexive system for children. A pilot study on Laban's Effort features" in *SIMCAM International. Proceedings*, University of Para, 2013, p. 74 - 94.

ADDESSI Anna Rita, ANELLI Filomena et MAFFIOLI Marina, "The MIROR platform for young children's music and dance creativity: Reflexive interaction meets body-gesture, embodied cognition and Laban educational dance" in *Perspectives. Journal of Early Childhood Music & Movement Association*, 10(1), 2015, p. 9-17.

BEVILACQUA Frédéric, GUÉDY Fabrice, SCHNELL Norbert, FLETY Emmanuel et LEROY Nicolas, "Wireless sensor interface and gesture-follower for music pedagogy" in *Proceedings of the Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME '07)*, New York, USA, 2007.

FRID Emma, BRESIN Roberto, ALBORNO Paolo et ELBLAUS Ludvig, "Interactive Sonification of Spontaneous Movement of Children–Cross-Modal Mapping and the Perception of Body Movement Qualities through Sound" in *Frontiers in Neuroscience*, 10(521), 2016, URL : https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5104747/ .

JENSENIUS Alexander Refsum, "An action-sound approach to teaching interactive music" in *Organised Sound*, 18(2), Cambridge University Press, 2013, p. 178-189.

NIJS Luc et LEMAN Marc, "Performing with the music paint machine: provoking an embodied approach to educational technology" in Andrew KING et Evangelos HIMONIDES (dir.), *Music, technology & education : critical perspectives*, London-New York, Routledge, 2016, p. 225-242.

RUTHMANN Alex et MANTIE Roger (dir.), *The Oxford Handbook of Technology and Music Education*, New York, Oxford University Press, 2017.

THONY Julie, THOMANN Guillaume, CORDIER Jacques et DI DONATO Alain, "Adaptation Ergonomique du Matériel Musical : un projet interdisciplinaire concret au service des enfants handicapés" in *Hermès Sciences. Expériences en Ergothérapie*, Sauramps Médical, Montpellier, 2008, p. 196-203.

VEYTIZOU Julien, "Conception de systèmes personnalisables aux capacités motrices pour la pratique musicale" in TRUCK Isis, GROS Karine et LOPEZ-KRAHE Jaime, *Handicap, Vieillissement, Indépendance, Insertion, Technologies*, Actes de Colloque, Paris, France, 2015, p. 55-61.

WATTS Emily H., MCCORD Kimberly et VANDERLINDE BLAIR Deborah, "Assistive Technology to Support Students in Accessing the Music Curriculum" in VANDERLINDE BLAIR Deborah et MCCORD Kimberly A. (dir.), *Exceptional Music Pedagogy for Children with Exceptionalities*, New York, Oxford University Press, 2016, p. 85-104.

Philosophie Ancienne, Médiévale et Moderne

DESCARTES René, *Discours de la méthode* [1637], Paris, Gallimard, 1991.

PLATON, *La République - Livre VII*, texte traduit par BACCOU Robert, Paris, Flammarion, 1996.

PLATON, *Œuvres complètes (Tome IV - 1er partie : Phédon)*, Texte établi et traduit par Léon Robin, Paris, Les Belles Lettres, 1926.

KANT Immanuel, *Critique de la Faculté de Juger* (1790), Paris, Aubier, 1995

LOCKE John, *Essai sur l'entendement humain - Livre III et IV* (1690), Paris, VRIN, 2006.

SCHOPENHAUER Arthur, *Le monde comme volonté et représentation* (1844), Paris, Gallimard, 2009.

TALON-HUGON Carole, *Descartes ou les passions rêvées par la raison*, Paris, VRIN, 2002.

Philosophie de la Musique et Esthétique Musicale

BÉLIS Annie, *Aristoxène de Tarente et Aristote : le « Traité d'Harmonique »*, Paris, Klincksieck, 1986.

DUFOUR Eric, *L'esthétique musicale de Nietzsche*, Villeneuve d'Ascq, Presses Universitaires du Septentrion, 2005.

ERLMAN Veit, *Reason and Resonance. A history of modern aurality*, Cambridge (Massachusetts) MIT Press, 2010.

GOZZA Paolo (dir.), *Number to Sound. The musical way to the scientific revolution*, Dordrecht, Springer, 2000.

GRACYCK Theodore et KANIA Andrew (dir.), *The Routledge Companion to Philosophy and Music*, New York, Routledge, 2011.

SHAFER R. Murray, *The tuning of the world*, New York, Knopf, 1977.

Philosophie du XX^{ème} e du XXI^{ème} siècle

BACHELARD Gaston [1957], *La poétique de l'espace*, Paris, PUF, 1961.

BEDAU Mark A. et HUMPHREYS Paul, *Emergence: contemporary readings in philosophy and science*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2008.

BENJAMIN Walter, *L'œuvre d'art à l'époque de sa reproductibilité technique* [1939], Paris, Éditions Payot & Rivages, 2013.

CARBONE Mauro, *La chair des images*, Paris, VRIN, 2011.

DELEUZE Gilles, "L'actuel et le virtuel" in *Dialogues*, Paris, Flammarion, 1996.

DELEUZE Gilles et GUATTARI Felix, *L'anti-Œdipe. Capitalisme et schizophrénie*, Paris, Éditions de Minuit, 1972.

DELEUZE Gilles et GUATTARI Felix, *Milles plateaux. Capitalisme et schizophrénie*, Paris, Éditions de Minuit, 1980.

DELEUZE Gilles et GUATTARI Felix, *Qu'est ce que la philosophie*, Paris, Éditions de Minuit, 1991.

HEIDEGGER Martin, "La question de la technique" [1954], dans *Essais et conférences,* Paris, Gallimard, 1993.

JACKENDOFF Ray, *Languages of the mind : essays on mental representation*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 1992.

RICŒUR Paul, *Du texte à l'action. Essais d'herméneutique*, Paris, Seuil, 1986.

SIMONDON Gilbert, *Du mode d'existence des objets techniques* [1958], Paris, Aubier, 2001.

SIMONDON Gilbert,, *L'individu et sa genèse physico-biologique*, Paris, PUF, 1964.

Philosophie et Sociologie des Nouveaux Médias

ASCOTT Roy (dir.), *Reframing consciousness*, Portland (Oregon), Intellect books, 1999.

BAUDRILLARD Jean, *Simulacres et simulation*, Paris, Éditions Galilée, 1981.

CLOUGH Patricia T., "The Affective Turn: Political Economy, Biomedia and Bodies" in. *Theory, Culture and Society*, 25(1), 2008.

BOLTER Jay D. et GRUSIN Richard, *Remediation. Understanding new media*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2000.

BOLTER Jay D. et GROMALA Diane, *Windows and Mirrors. Interaction design, digital art, and the myth of transparency*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2003.

CARBONE Mauro, *Philosophie-écrans. Du cinéma à la révolution numérique*, Paris, Vrin, 2016.

DEBRAY Regis, *Manifestes médiologiques*, Paris, Gallimard, 1994.

DIODATO Roberto, *Estetica del virtuale*, Milano, Bruno Mondadori, 2004; Traduction français : DIODATO Roberto, *Esthétique du virtuel*, Paris, VRIN, 2011.

DIODATO Roberto, "The virtual body", in ANTOMARINI Brunella et BERG Adam (dir.), *Aesthetics in present future. The arts and the technological horizon*, Lanham (Maryland), Lexington Books, 2013.

DYENS Olivier, *La Condition inhumaine : Essai sur l'effroi technologique*, Paris, Flammarion, 2010.

HARAWAY Donna J., *Simians, Cyborgs and Women: The Reinvention of Nature*, London-New York, Routledge, 1991.

HANSEN Mark B. N., *New philosophy for new media*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2004.

HANSEN Mark B. N., *Bodies in code. Interfaces with digital media*, London-New York, Routledge, 2006.

HASSAN Ihab "Prometheus as performer: toward a posthumanist culture?" in *The Georgia Review,* 31(4), 1977, p. 830-850.

HAYLES Katherine N., *How we became posthuman: Virtual bodies in cybernetics, literature, and informatics*, Chicago, University Of Chicago Press, 1999.

IHDE Don, *Bodies in technology*, Minneapolis (Minnesota), University of Minnesota Press, 2002.

LE BRETON David, *L'adieu au corps*, Paris, Éditions Métailié, 1999.

LE BRETON David, "Vers la fin du corps : cyberculture et identité" in *Revue internationale de philosophie* 2002/4 (n° 222), p. 491-509.

LEVY Pierre, *Qu'est-ce que le virtuel?*, Paris, Éditions La Découverte, 1995.

MANOVICH Lev, *The language of new media*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2001.

MCLUHAN Marshall, *La galaxie Gutenberg. La genèse de l'homme typographique* [1962], Paris, Gallimard, 1977.

MCLUHAN Marshall, *Pour comprendre les médias : les prolongements technologiques de l'homme* [1964], Paris, Seuil, 1977.

NANNIPIERI Olivier, *Du réel au virtuel. Les paradoxes de la présence*, Paris, Harmattan, 2017.

POSTER Mark, *The second Age of Media*, Cambridge (Massachusetts), Polity Press, 1995.

RIVOLTELLA Pier Cesare, "La multimedialità" in Cesare SCURATI (dir.), *Techniche e significati. Linee per una nuova didattica formativa*, Milano, Vita e Pensiero, 2000.

TISSERON Serge, *Rêver, fantasmer, virtualiser. Du virtuel psychique au virtuel numérique*, Paris, Dunod, 2012.

VIRILIO Paul, *Art and Fear* [2000], London, Continuum, 2004.

WEISSEMBERG Jean-Louis, *Présences à distance. Déplacement virtuel et réseaux numériques*, Paris, Éditions l'Harmattan, 1999.

ZIZEK Slavoj, *Bienvenue dans le désert du réel* (2002), Paris, Flammarion, 2005.

Physical Computing et Design Interactif

FRADEN Jacob, *Handbook of modern sensors : physics, designs, and applications* (1996), New York, Springer-Verlag, 2004.

GRUDIN Jonathan, "Utility and usability: Research issues and development contexts", in *Interacting with Computers*, 4(2), Elsevier Science B.V., 1992, p. 209-217.

O'SULLIVAN Dan et IGOE Tom, *Physical Computing Sensing and Controlling the Physical World with Computers*, Boston (Massachusetts), Thomson Course Technology, 2004.

Psychologie

BALAS-CHANEL Armelle, "L'Entretien d'explicitation. Accompagner l'apprenant vers la métacognition explicite" in *Recherches & éducations*, 2002.

NAKAMURA Jeanne et CSIKSZENTMIHÁLYI Mihaly, "Flow Theory and Research" In C. R. Snyder Erik WRIGHT, and Shane J. LOPEZ (dir.), *Handbook of Positive Psychology*, Oxford University Press, 2001, p. 195-206.

STIEGLITZ Stefan, LATTEMANN Christoph, ROBRA-BISSANTZ Susanne, ZARNEKOW Rüdiger et BROCKMANN Tobias (dir.), *Gamification. Using game elements in serious contexts*, Cham (Switzerland), Springer International, 2017.

VIVES Jean-Michel et VINOT Frédéric, *Les médiations thérapeutiques par l'art : le réel en jeu*, Toulouse, Éditions Érès, 2014.

Réalité Virtuelle et Augmentée

CROWFORD Chris, "Process intensity" in *Journal of computer game design*, 1(5), 1987.

FURHT Borko (dir.), *Handbook of Augmented Reality*, London, Springer, 2011.

MIHELJ Matjaz, NOVAK Domen et Beguš Samo (dir.), *Virtual reality technologies and applications*, Dordrecht, Springer, 2014.

MILON Alain, *La Réalité virtuelle, avec ou sans corps ?*, Paris, Autrement, 2005.

Rééducation, Médiation Thérapeutique et Nouvelles Technologies

ANDERSON Paul, MA Minhua et JAIN Lakhmi C. (dir.). *Virtual, augmented reality and serious games for healthcare*, Berlin, Springer-Verlag, 2014.

BARAM Yoram et MILLER Ariel, "Auditory feedback control for improvement of gait in patients with Multiple Sclerosis" in *Journal of the Neurological Sciences*, Elsevier, 254, 2007, p. 90–94.

BERGSLAND Andreas et WECHSLER Robert, "Turning movement into music. Issues and applications of the MotionComposer, a therapeutic device for persons with different abilities" in *SoundEffects – An Interdisciplinary Journal of Sound and Sound Experience*, 5(1), 2016, p. 24-47.

BOYER Eric O., PYANET Quentin, HANNETON Sylvain et BEVILACQUA Frédéric, "Learning Movement Kinematics with a Targeted Sound" in ARAMAKI Mitsuko, DERRIEN Olivier, KRONLAND-MARTINET Richard et YSTAD Sølvi (dir.), *Sound, Music, and Motion*, Cham (Switzerland), Springer International, 2014, p. 218-233.

FRIEDMAN Nizan, Chan Vicky, Reinkesmeyer Andrea N., Beroukhim Ariel, Zambrano Gregory, Bachman Mark et Reinekesmeyer David, "Retraining and assessing hand movement after stroke using the MusicGlove: comparison with conventional hand therapy and isometric grip training" in *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2014, 11(76), URL : https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24885076 .

GEHLHAAR Rolf, RODRIGUES Paulo Maria, GIRÃO Luis Miguel et PENHA Rui, "Instruments for everyone : designing new means of musical expression for disabled creators" in BROOKS Anthony L., BRAHNAM Sheryl et JAIN Lakhmi C. (dir.), *Technologies of inclusive well-being. Serious game, alternatives realities and play therapy*, New York, Springer, 2014, p. 167-198.

ROBERTSON Johanna V. G, HOELLINGER Thomas, LINDBERG Påvel, BENSMAIL Djamel, HANNETON Sylvain et ROBY-BRAMI Agnès, "Effect of auditory feedback differs according to side of hemiparesis: a comparative pilot study" in *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 6(45), 2009, URL : https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2804659/ .

SHARMA Dhara, CHEVIDIKUNNAN Mohamed Faisal, KHAN Fayaz Rahman et GAOWGZEH Riziq Allah, "Effectiveness of knowledge of result and knowledge of performance in the learning of a skilled motor activity by healthy young adults" in *Journal of Physical Therapy Science*, Elsevier, 28(5), 2016, p. 1482–1486.

STENSÆTH Karen, "Potentials and challenges in interactive and musical collaborations involving children with disparate disabilities. A comparison study of how Petronella, with Down syndrome, and Dylan, with autism, interact with musical and interactive tangible 'WAVE'" in STENSÆTH Karen (dir.), *Music, health, technology and design*, Oslo, NMH-publications, 2014, p. 97-118.

Sciences Cognitives et Neurosciences

BECK Travis W., HOUSH Terry J., CRAMER Joel T., WEIR Joseph P., JOHNSON Glen O., COBURN Jared W., MALEK Moh H. et MIELKE Michelle, "Mechanomyographic amplitude and frequency responses during dynamic muscle actions: a comprehensive review" in *Biomedical engineering online*, 4(67), 2005 https://biomedical-engineering-online.biomedcentral.com/articles/10.1186/1475-925X-4-67.

BERTHOZ Alain, *Le sens du mouvement*, Paris, Odile Jacob, 1997.

BERTHOZ Alain et CHRISTEN Yves (dir.), *Neurobiology of "Umwelt". How living beings perceive the world*, Berlin, Springer-Verlag, 2009.

CINCOTTI Febo, MATTIA Donatella, ALOISE Fabio, BUFALARI Simona, ASTOLFI Laura, DE VICO FALLANI Fabrizio, TOCCI Andrea, BIANCHI Luigi, MARCIANI Maria Grazia, GAO Shangkai, MILLAN José del R. et BABILONI Fabio, "High-resolution EEG techniques for brain–computer interface applications" in *Journal of Neuroscience Methods*, Elsevier, 167(1), 2008, p. 31-42.

FARINA Dario, JIANG Ning, REHBAUM Hubertus, HOLOBAR Aleš, GRAIMANN Bernhard, DIETL Hans et ASZMANN Oskar C., "The Extraction of Neural Information from the Surface EMG for the Control of Upper-LimbProstheses: Emerging Avenues and Challenges" in *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering*, 22(4), 2014, p. 797-801.

FISK John E. et SHARP Charles A., "The role of the executive system in visuo-spatial memory functioning" in *Brain and Cognition*, 52(3), 2003, p. 364–381.

FORT Alexandra et GIARD Marie-Hélène, "Multiple Electrophysiological Mechanism of audiovisual integration in human perception" in CALVERT Gemma A., SPENCE Charles et STEIN Barry E. (dir.), *The handbook of multisensory processes*, Cambridge (Massachusetts), Bradford Book, 2004, p. 503-513.

GAZZANIGA Michael S. et MANGUN George R. (dir.), *The cognitive neurosciences*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 2014.

MEREDITH Alex et STEIN Barry E., "Visual, auditory and somatosensory convergence on cells in superior colliculus results in multisensory integration" in *Journal of Neurophysiology*, 56, 1986, p. 640-662.

NAUMER Marcus J. et KAISER Jochen (dir.), *Multisensory Object Perception in the Primate Brain*, New York, Springer, 2010.

RIZZOLATTI Giacomo et SINIGAGLIA Corrado, *Mirrors in the Brain. How we share actions and emotions*, New York, Oxford University Press, 2008.

STEIN Barry E., STANFORD Terrence R., et ROWLAND Benjamin A., "The Neural Basis of Multisensory Integration in the Midbrain: Its Organization and Maturation" in *Hearing Research*, 258(1-2), 2009, p. 4–15.

STEIN Barry E. et ROWLAND Benjamin A., "Organization and plasticity in multisensory integration: early and late experience affects its governing principles" in GREEN Andrea M., CHAPMAN Elaine, KALASKA John F. et LEPORE Franco (dir.), *Enhancing Performance for Action and Perception. Multisensory Integration, Neuroplasticity and Neuroprosthetics*, Part I, Amsterdam, Elsevier, 2011, p. 145-163.

GALLESE Vittorio, "Il corpo teatrale : mimetismo, neuroni specchio, simulazione incarnata" in *Culture Teatrali*, 16, 2007, p. 13-37.

Autres Textes

ALBERTI Leon Battista, *De pictura (redazione volgare)* [1435], Texte établi par Lucia BERTOLINI, Firenze, Polistampa, 2011.

ARTAUD Antonin, *Pour en finir avec le jugement de dieu* [1948], Paris, Gallimard, 2003.

BAUDELAIRE Charles, "Correspondances" in *Oeuvres complètes*, Paris, Gallimard, 1980.

BAUDRILLARD Jean, *Le crime parfait*, Paris, Éditions Galilée, 1994.

KANTOROWICZ Ernst, *Les deux corps du roi : essai sur la théologie politique au Moyen âge* [1957], Paris, Gallimard, 1989.

SCHNEIDER Marius, "Le rôle de la musique dans la mythologie et les rites des civilisations non européennes" in ROLAND Manuel (dir.), *Histoire de la musique I*, Gallimard, Paris, 1960, p. 131-214.

TURNER Victor, *Anthropology of performance*, New York, PAJ Publications, 1987.