



HAL
open science

Vers des environnements homme-machine pour ressaisir les intentions dans la création scénique

Alain Bonardi

► **To cite this version:**

Alain Bonardi. Vers des environnements homme-machine pour ressaisir les intentions dans la création scénique. Informatique [cs]. Université de Reims - Champagne Ardenne, 2008. tel-00417697

HAL Id: tel-00417697

<https://theses.hal.science/tel-00417697>

Submitted on 16 Sep 2009

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.

Vers des environnements homme-machine pour ressaisir les intentions dans la création artistique scénique

*Réflexions sur la médiation des nouvelles technologies
dans la conception de spectacles vivants
et leur recréation par les spectateurs*

Alain Bonardi

Mémoire d'habilitation à diriger des recherches

Université de Reims Champagne Ardenne

Ecole Doctorale « Sciences, technologies, santé »

Centre de Recherches en Sciences et Technologies
de l'Information et de la Communication (CReSTIC) – EA 3804

2008

Université de Reims Champagne Ardenne
Habilitation à diriger des recherches

Alain Bonardi

Synthèse d'activité scientifique et programme de recherche

**Vers des environnements homme-machine
pour ressaisir les intentions
dans la création scénique**

*Réflexions sur la médiation des nouvelles technologies
dans la conception de spectacles vivants
et leur recréation par les spectateurs*

Soutenue publiquement le 10 décembre 2008 devant un jury composé de :

Professeur	Herman Akdag	Université de Reims Champagne Ardenne	Examineur
Professeur	Dominique Faudot	Université de Bourgogne	Rapporteur
Professeur	Ioannis Kanellos	TELECOM Bretagne	Rapporteur
Professeur	Philippe Manoury	University of California, San Diego	Examineur
Professeur	Francis Rousseaux	Université de Reims Champagne Ardenne	Directeur
Professeur	Harald Wertz	Université Paris 8	Rapporteur

Résumé

Prenant acte de la crise des représentations liées à la « graphosphère » et de la montée en puissance des représentations multimédia, constatant l'émergence de l'informatique temps réel dans les arts de la scène, nous avons mené notre recherche depuis plusieurs années sur le thème de la médiation des technologies de l'information et de la communication dans l'écriture des spectacles vivants (théâtre et opéra, principalement), et leur recreation par les spectateurs. Notre perspective est la conception d'environnements informatiques pour la création artistique scénique et sa réception, destinés à trois communautés d'utilisateurs : les créateurs d'œuvres, les performers¹ sur scène, et le public au sens large.

Dans la conduite de notre recherche, nous avons exploré trois pistes, chacune adossée à une étude de cas sur un spectacle professionnel représenté sur scène :

- Les environnements virtuels informés, pour permettre l'émergence de nouvelles modalités de mise en scène, au-delà du déploiement classique d'ontologies de personnages et de situations.
- Les collections numériques, entre semblance et contiguïté, au service de créations ouvertes, que le performer comme le visiteur peut réagencer en les parcourant.
- Les environnements d'assistants virtuels de performer et metteur en scène, à base de collections numériques et de logique floue, qui se positionnent dans les processus de formulation d'intentions de leurs utilisateurs.

L'ensemble de ces travaux ouvre à un programme de recherches autour de l'assistance aux concepteurs, aux interprètes et aux spectateurs des productions artistiques, en travaillant sur les situations d'intervention : le plateau et plus seulement l'ordinateur en tant qu'environnement de prescription pour les concepteurs ; les espaces de training et plus seulement la scène pour les performers ; enfin, l'espace du spectateur n'est plus seulement la salle de concert, mais des lieux non-scéniques comme le musée, et des terminaux comme l'ordinateur individuel ou le téléphone portable.

¹ Par performer, nous entendons tout artiste en situation de jeu scénique, qu'il s'agisse d'un musicien, d'un comédien, ou d'un danseur.

Abstract

Noting that representations belonging to the « graphic sphere » undergo a severe crisis whereas multimedia representations have become more and more powerful and widespread, noticing that realtime computing is emerging in the field of scenic arts, we have carried out our research for several years on the topic of the mediation of information and communication technologies for the design of live shows (theatre and opera, mainly), and their recreation by spectators. Our perspective is the design of computerized environments for artistic creation on stage and its reception, intended for three communities of users: work creators, performers on stage and the audience in a broad meaning.

In the conducting of our research, we have explored three tracks. Each of them leans back on a case study about a professional show already staged:

- Virtual Informed Environments, to enable the emergence of new modalities of staging, beyond the classic display of ontologies of characters and situations.
- Digital collections, between similarity and contiguity, supporting open creations, that performers or visitors may lay out while browsing through them.
- The virtual assistant environments for performers and stage directors, based on digital collections and fuzzy logic, that nestle in the processes of wording of intentions by users.

This work opens possibilities of a research program about assistance to designers, performers and spectators of artistic shows. We must work on intervention situations: the stage and not only the computer as a prescription environment for designers; training spaces and not only the stage for performers ; last but not least, the spectator place which is not only the concert hall, but also non-scenic places as museums, or terminals personal computers or mobile phones.

Remerciements

Je tiens à remercier chaleureusement chacun des membres de mon jury de m'avoir consacré temps et attention pendant la préparation de ce travail. En particulier ma reconnaissance va aux rapporteurs qui ont pris le temps de critiquer en profondeur mes propositions et de suggérer des améliorations ou des pistes complémentaires : Dominique Faudot, professeur à l'Université de Bourgogne, Ioannis Kanellos, professeur à TELECOM Bretagne, et Harald Wertz, professeur à l'Université Paris 8. J'adresse également mes remerciements à Francis Rousseaux, professeur à l'Université de Reims Champagne Ardenne, avec qui j'ai toujours grand plaisir à collaborer, et qui m'a encouragé et conseillé dans les phases de conception et de rédaction de cette habilitation. Un grand merci à Philippe Manoury, compositeur renommé, pionnier des musiques mixtes temps réel, et professeur à l'Université de Californie à San Diego, d'accepter de siéger dans ce jury et d'y apporter son expérience artistique. Enfin, je n'oublie pas Herman Akdag, professeur à l'Université de Reims Champagne Ardenne, dont j'ai apprécié à de nombreuses reprises la hauteur de vue lors de questionnements croisant les aspects les plus pointus de la classification et de la créativité humaine.

Je viens de passer deux riches années de délégation CNRS à l'IRCAM, dont je remercie son directeur, Frank Madlener, et son directeur scientifique, Hugues Vinet, de prolonger notre collaboration et d'accueillir la soutenance de ce travail. Dans ce lieu de confluences de disciplines et de pratiques scientifiques comme artistiques, je pense à tous ceux qui ont permis à ma réflexion de s'enrichir. Tout d'abord, dans l'équipe *Interactions Musicales Temps Réel*, au sein de laquelle j'ai réalisé mes travaux sur la logique floue en contexte scénique temps réel : merci à Frédéric Bevilacqua, Norbert Schnell, Arshia Cont, Julien Bloit et tous ceux qui m'ont consacré du temps. Une mention spéciale pour Christopher Dobrian, professeur à l'Université de Californie à Irvine, et chercheur invité dans l'équipe, avec qui j'ai partagé non seulement un bureau, mais de nombreux échanges sur l'interaction, le geste et la logique floue. Merci également aux membres de l'équipe *Services en ligne* avec qui ont été développées de nombreuses réflexions sur la pérennité des modules temps réel pour la création artistique : Jérôme Barthélemy, Guillaume Boutard, Samuel Goldszmidt et, l'espace de son stage, Karin Weissenbrunner. Je n'oublie pas l'équipe administrative, dont le soutien a toujours été important : Sylvie Benoît, Didier Perini, Carole Tan.

Je souhaite adresser mes remerciements à mes collègues de l'Université Paris 8, à qui je dois de nombreuses ouvertures et idées, et qui ont toujours considéré avec grand intérêt ma thématique de travail, autour de la médiation des nouvelles technologies dans le domaine de la musique et plus généralement les arts scéniques. Merci à Arab Ali Chérif, Patrick Greussay et Jacqueline Signorini, professeurs, de toujours enrichir ces discussions. Je souhaite plus particulièrement remercier ma collègue Isis Truck, avec qui a été conçue la

librairie *FuzzyLib* de logique floue pour le temps réel, et mon collègue Nicolas Jouandeu qui a participé à ces travaux. Je pense également à Marie-Hélène Tramus et Michel Bret, respectivement professeur et ancien professeur, avec qui j'ai partagé de nombreuses joies d'enseignement et de recherche il y a quelques années.

Le lecteur de ce mémoire découvrira au fil des pages que mes réflexions et réalisations ont été développées dans le monde du spectacle professionnel. Je tiens à remercier les équipes artistiques qui ont fait le pari avec moi de l'inscription de la technologie dans l'œuvre scénique pour en chercher de nouvelles formes ou de nouvelles expressions. Tout d'abord, les membres du collectif Hypothénuse : Christine Zeppenfeld, metteur en scène et dramaturge ; Ignazio Terrasi, chef d'orchestre ; Julien Piedpremier et Nicolas Hoareau, concepteurs images ; Thierry Fratissier, concepteur lumières ; Armelle Orioux, Caroline Chassany et Claire Maupetit, sopranos ; Bruno Rosaz, comédien. Ensuite, l'équipe du Théâtre du Signe à Caen : Marco Bataille-Testu, metteur en scène ; Sylvie Robe, auteur dramatique ; Lolita Espin Anadon, chorégraphe ; Stéphane Pelliccia, comédien ; Nicolas Girault, concepteur images. Je n'oublie pas Constance Chlore, écrivain et poète ; Armelle Sebban, pianiste ; Jean-François Chياما, ténor ; Valérie Morignat, créatrice images, avec qui s'esquissent de nouveaux projets. Enfin, je pense à ceux qui m'ont fait confiance, en m'accueillant dans leurs structures d'enseignement musical pour des conférences et des interventions pédagogiques ou expérimentales autour des nouvelles technologies : pour le Conservatoire à Rayonnement Régional de Bayonne Pays Basque, Olivier Seube, également co-directeur avec Pascal Clarhaut du Stage Musical d'Été de Saint-Jean de Luz.

Je souhaite enfin remercier ma famille pour son soutien enthousiaste à l'ensemble de ces recherches. Merci tout particulièrement à Elodie, Constance, Mathilde et Clara.

Introduction

**Contexte, motivations, objectifs
et dispositifs de recherche visés**

1. Contexte général

1.1. Les mutations de nos représentations

1.1.1. CRISES DANS LA « GRAPHOSPHERE »

Notre époque traverse une crise de la représentation au sens large, le plus souvent relevée dans le domaine politique, mais évidemment présente dans l'art. Elle s'éprouve aussi bien au Centre Beaubourg qu'au Parlement. L'impression générale est celle de la circulation à vide d'un ensemble d'images et de situations ressassées, affadies, voire devenues inopérantes.

Cette crise accompagne notre monde occidental. Platon la relevait déjà dans le *Mythe de la caverne*. Dans son célèbre tableau *La Trahison des images* (1929), René Magritte soulignait à quel point la palette sensorielle de la pipe peinte est pauvre : rien de l'odeur suave du tabac et de son goût amer, rien de la chaleur du bois contre la paume de la main, rien qu'une reconnaissance frustrée de la présence et de l'expérience sensorielle vive. Commentant la peinture de Magritte dans un livre intitulé *Ceci n'est pas une pipe*² (1973), le philosophe Michel Foucault montre comment cette recherche picturale met fin à l'équivalence entre « le fait de la ressemblance » et « l'affirmation d'un lien représentatif », alors que « l'essentiel, dans la peinture classique, c'est qu'on ne peut dissocier ressemblance et affirmation ». Pour Daniel Bounoux, « notre "crise de la représentation" est moins un accident qu'un risque structurel, inscrit dans toute logique du signe »³.

La réduction de la connaissance à la reconnaissance, de l'éprouvé à la signalétique, ne peuvent que provoquer désillusion et déception. Ainsi, *La Joconde* n'apparaît plus dans son exigence d'œuvre, mais comme une icône : elle guide les visiteurs du Louvre, et plus largement incarne la peinture occidentale dans son ensemble. La pipe de Magritte pointe tout l'écart entre l'éprouvé de la situation (l'odeur du tabac, la chaleur), et sa description minimale. Parallèlement, les arts liés au texte, à la « graphosphère » (selon le mot de Daniel Bounoux), perdent une partie de leur autorité.

² FOUCAULT, Michel, *Ceci n'est pas une pipe*, Paris : Fata Morgana, 1973.

³ BOUGNOUX, Daniel, *La crise de la représentation*, Paris : La Découverte, 2006, page 12.

Un des symptômes de cette situation d'affaissement de la représentation est le statut accordé au geste dans la mise en scène et la création dramaturgique non dansée. L'évolution du geste accompagne assez fidèlement les évolutions de la confiance accordée à la représentation⁴. En effet, de simple illustration d'une rhétorique dans l'approche classique, le geste devient chez certains metteurs en scène comme Bob Wilson le vecteur d'une expression cohérente, et presque autonome. Son importance nouvellement acquise, voire son indépendance, manifestent un approfondissement d'approches non exclusivement textuelles de l'opéra. Les incursions de chorégraphes dans la mise en scène d'opéra, comme Pina Bausch pour *Le Château de Barbe-Bleue* de Bartok (Festival d'Aix-en-Provence, 1998), ou le duo José Montalvo/Dominique Hervieu pour *Les Paladins* de Rameau (Théâtre du Châtelet, 2004), introduisent une autonomie et une liberté du geste par rapport à une partition et un livret.

Face à cette crise, toutes les tentatives de restauration supposent un certain retrait du monde, et nombreux sont ceux, dans des arts comme la musique ou le théâtre, qui proposent de revenir aux textes, aux sources, ou au sujet, considérés dans leur acception traditionnelle. Ils se croient ainsi à l'abri de la crise de la représentation qui se jouerait à l'extérieur de chez eux. Qu'ils se détrompent, la crise est là, partout, présente dans les fidèles compagnons de travail que sont nos ordinateurs individuels, tapie dans le multimédia interactif.

1.1.2. LA MONTEE EN PUISSANCE DES REPRESENTATIONS ASSOCIEES AU MULTIMEDIA

La forme actuelle de la crise de représentation, selon Daniel Bougnoux, « peut [...] s'interpréter comme un retour du réel, aux multiples manifestations. Le réel se rappelle quand l'urgence du présent vient supplanter la représentation. Ce présentisme semble une idée neuve, née avec l'individualisme démocratique de masse »⁵. Le multimédia interactif apparaît comme un terrain idéal pour cette quête de présentisme et de manifestations presque vitales, surtout le monde des jeux vidéo, qui propose l'immédiateté, les raccourcis de réflexion, les mises en présence instantanées qui répondront à ces désirs tout en les façonnant. Et Bougnoux de constater que « du côté des artistes [...], on assiste à une coupure grandissante entre les arts qui relèvent du récit, ou d'un pôle littéraire de référence, et ceux qui produisent des ambiances et des rythmes [...] Patience dans le récit, impatiences médiatiques... »⁶.

Mais nous devons comprendre que ces raccourcis vers le présentisme, cette passion pour le réel – pour reprendre le thème du livre d'Alain Badiou, *Le siècle*⁷ – véhiculent également des représentations, bien différentes de celles liées à la « sphère » du texte, à la fois en

⁴ BONARDI, Alain, « Sur les conditions de possibilité des opéras numériques », in *Espaces sonores – Actes de recherches*, sous la direction d'Anne Sedes, Saint-Denis, Editions Musicales Transatlantiques, CICM, pages 117-123.

⁵ BOUGNOUX, Daniel, *La crise de la représentation*, Paris : La Découverte, 2006, page 9.

⁶ *Ibid.*, page 136.

⁷ BADIOU, Alain, *Le siècle*, Paris : Seuil, 2005, 255 pages.

prise plus directe avec les phénomènes éprouvés et profondément enfouies dans nos cognitions.

Le multimédia interactif envahit les ordinateurs, et par ce truchement s'invite avec ses représentations au cœur de notre intimité, au milieu même de notre travail coopératif, dans une banque comme dans un théâtre, et de nos loisirs, solitaires ou en groupe. La représentation est une condition de possibilité fondamentale du multimédia interactif : la clé cognitive principale même, les ordinateurs ne pouvant s'inscrire pleinement dans le fil d'activités humaines interprétatives que s'ils partagent avec leurs partenaires humains des lieux de médiation, qui ne sont autres que les *représentations échangées ou construites dans l'interaction*. La question est identifiée depuis l'origine des ordinateurs et le développement de l'intelligence artificielle. Quiconque utilise un ordinateur en mode interactif ravive immanquablement la crise de la représentation, en ouvrant, parfois sans le savoir, sa porte à ces représentations « computationnelles ».

Citons quelques applications porteuses de ces représentations, dont nous remarquons d'emblée qu'elles sont inséparables du dialogue homme-machine :

- Le traitement de texte sur ordinateur reconfigure le rapport entre lecture et écriture, qui passe par une aptitude du dispositif multimédia à donner envie de lire pour écrire encore, d'effectuer des mises à jour répétées, presque des mises au jour du texte à venir.
- Les jeux vidéo constituent un domaine important du multimédia interactif. Ils sont caractérisés par une modalité temporelle très serrée fondée sur l'action et l'engagement du corps. Le chronomètre oblige le joueur à se projeter dans le jeu : il réduit l'écart entre l'espace du jeu et l'espace de représentatif du joueur, imposant à ce dernier des représentations hiérarchisées extrêmement fortes qui s'imposent à lui.
- Certains CD-ROM transforment les représentations traditionnelles de la créativité en posant la question du statut de l'utilisateur de systèmes informatiques dans lesquels des outils conçus initialement pour des artistes sont mis à sa disposition. Ainsi, certains logiciels et CD-ROM interrogent la notion de composition musicale et l'on peut se demander en les parcourant qui est le compositeur. Par exemple, le CD-ROM *Prisma* consacré à la compositrice Kaija Saariaho (née en 1952), envisage la composition comme un jeu interactif : l'œuvre, *Mirrors* (1997), écrite pour flûte et violoncelle initialement, a été découpée en courts fragments, réagencables par l'utilisateur grâce à de simples manipulations, l'ordinateur autorisant ou interdisant certaines combinaisons.

1.2. L'émergence de l'informatique temps réel dans les arts de la scène

1.2.1. LA NAISSANCE DE L'INFORMATIQUE MUSICALE TEMPS REEL

L'histoire de l'informatique musicale est indissociable de celle des langages de programmation, que ce soit pour la composition musicale ou pour la synthèse et le traitement du son. En 1957, Max Mathews (qui dirige alors dans le cadre des Bell Telephone Labs un programme de recherche sur l'analyse et la synthèse sonore) conçoit le programme *MUSIC I*. Celui-ci va lui permettre de calculer les premiers sons de synthèse numérique et d'initier une série de programmes qui aboutiront au fameux langage *MUSIC V* (1968).

Au milieu des années 1980 naît le premier environnement de traitement temps réel⁸ pour la musique, *Patcher*, développé par le scientifique et musicien américain Miller Puckette. La nécessité musicale est alors de proposer une solution au problème de la synchronisation entre instruments acoustiques et musique électronique ; en effet, les œuvres mixtes étaient jusque-là le plus souvent construites autour d'une bande magnétique qui imposait son déroulement. *Patcher* naît dans un contexte de montée en puissance de l'ordinateur individuel multimédia (premiers Macintosh), de mise au point de protocoles d'échange pour la musique numérique comme MIDI, et de naissance des premiers *home studios*⁹.

1.2.2. L'ARRIVEE A MATURITE DES ENVIRONNEMENTS TEMPS REEL

De cet environnement initial naissent successivement deux logiciels, dominants encore aujourd'hui, utilisant un langage graphique, et orientés « traitement du signal » (métaphore du laboratoire de physique avec des objets à l'écran figurant des appareils opérant des traitements, reliés par des connections) :

- *Max/MSP*, développé par Miller Puckette à l'Ircam, tout d'abord comme éditeur, et utilisé pour la première fois dans une pièce appelée *Pluton* (écrite par Philippe Manoury en 1988), synchronisant l'ordinateur et le piano.
- *PureData*, logiciel libre, développé par Miller Puckette, à partir de *Patcher*.

Le paradigme d'environnement pour le traitement temps réel à base de langage graphique n'a cessé de se diffuser. Permettant une conception assez intuitive (sans programmation) et

⁸ L'ensemble est « temps réel » dans la limite de ce que l'on peut faire en C (pour la majorité de ces plateformes) avec des threads : loin d'un temps réel « critique », ces plateformes évoluent dans la sphère du temps réel « mou ». Il s'agit d'exécuter des « patches » ou modules de traitement, de telle sorte que leur fonctionnement soit le plus proche possible de ce que suggère leur représentation graphique, en simulant une physique de flux (à la manière de montages électriques) avec ses mises en série et ses dérivations.

⁹ Auparavant, les studios de création musicale et sonore étaient le plus souvent des institutions, souvent liées aux radios publiques.

un prototypage rapide, il rencontre un grand succès dans le monde artistique. A côté de deux logiciels pionniers, *Max/MSP* et *PureData*, sont nés de nombreux environnements, par exemple : le logiciel de synthèse audio *Reaktor*¹⁰ (Native Instruments) ; le logiciel de traitement temps réel *Isadora*¹¹ (Troika Tronix) utilisé dans le monde de la danse ; l'environnement d'analyse du geste et du son *EyesWeb*¹², développé par l'équipe d'Antonio Camurri à l'Université de Gênes ; le logiciel de traitement graphique et vidéo temps réel *Quartz Composer*¹³, proposé par Apple.

Simultanément, le champ des développements n'a cessé de s'élargir : initialement orientés vers le temps réel et les couches matérielles des systèmes (instruments de musique dialoguant selon la norme Midi), ces environnements, fondés sur une grande ouverture aux développements de la communauté d'utilisateurs¹⁴, ont progressivement intégré des modules liés à l'intelligence artificielle, notamment l'apprentissage artificiel (réseaux de neurones, modèles de Markov cachés, réseaux bayésiens).

1.2.3. L'EXTENSION DE CE PARADIGME A TOUS LES ARTS DE LA SCÈNE

Parti du monde de la musique contemporaine, ce paradigme de création s'est étendu en vingt ans à tous les arts de la scène, et à toutes sortes de pratiques artistiques. De nombreuses communautés musicales l'utilisent, notamment pour la scène, avec l'expansion du DJaying et VJaying. Le monde de la danse s'en est vite saisi, proposant de nombreuses approches de relation interactive avec la musique ou avec l'image : parmi de très nombreuses expérimentations, citons *L'écarlate* de Myriam Gourfink (chorégraphe) et Kasper Toeplitz (compositeur) en 2001, ou encore des spectacles comme *Gameplay* de Jean-Marc Matos, Anne Holst (chorégraphes) avec Antoine Schmitt (artiste-plasticien et programmeur) en 2005.

Le théâtre n'est pas en reste : la Comédie-Française s'est associée avec l'IRCAM sur des spectacles comme *Le Privilège des chemins*, de Fernando Pessoa, avec une mise en scène d'Eric Génovèse et des transformations sonores signées Romain Kronenberg en 2004. Jean Lambert-Wild, metteur en scène qui dirige le Centre Dramatique National de Normandie (Comédie de Caen) emploie dans sa troupe un créateur *Max/MSP*¹⁵.

Enfin, ce paradigme est devenu incontournable dans le milieu des installations, en arts plastiques.

¹⁰ <http://www.native-instruments.com/>

¹¹ <http://www.troikatronix.com/>

¹² <http://musart.dist.unige.it/EywMain.html>

¹³ http://developer.apple.com/documentation/GraphicsImaging/Conceptual/QuartzComposer/qc_intro/chapter_1_section_1.html

¹⁴ Notamment par la fourniture de kits de développement aisés à utiliser et l'ouverture à des langages comme Java et Javascript.

¹⁵ Jean Lambert-Wild a été l'un des pionniers des nouvelles technologies au théâtre, avec le spectacle *Orgia*, de Pasolini, qui mettait en relation des paramètres physiologiques captés sur des comédiens et un système multi-agent de virus.

1.2.4. LES COMMUNAUTES D'UTILISATEURS

Actuellement, 5000 licences *Max/MSP* sont diffusées dans le monde. Au total, l'ensemble des environnements graphiques pour le temps réel concerne environ 20 000 utilisateurs. L'activité « électronique » autour de ces logiciels est en plein développement : par exemple, 15 listes ou forums électroniques sont consacrés à *PureData*, ainsi qu'une encyclopédie *PdPedia* (sur le modèle de Wikipedia), qui comporte plus de 2400 articles. En octobre 2008 a été annoncée une version de *PureData* pour le téléphone iPhone d'Apple.

Les logiciels de traitement temps réel à base de langage graphique sont utilisés principalement dans le domaine des arts de la performance et des installations ; mais aussi en concurrence avec des outils logiciels classiques de traitement du son de *home studio* ; ou encore dans l'enseignement, par exemple du traitement du signal en complément de *Matlab*.

Pour être plus précis, et pour la suite de notre étude, nous distinguerons trois groupes d'utilisateurs, qui sont bien entendu liés :

- Les concepteurs d'applications artistiques temps réel faisant appel à ces plateformes. Ce sont en général des artistes ou des programmeurs, le plus souvent rattachés soit à de grands centres de création (comme par exemple l'IRCAM), soit à des centres de recherche universitaires. Certains augmentent les capacités de ces plateformes en créant de nouveaux objets ou modules, qui sont ensuite disponibles en téléchargement.
- Les artistes performers qui utilisent les interfaces de ces environnements, en situation de jeu scénique, et qui n'ont qu'une vision partielle du système, souvent par association de stimuli à des perceptions du comportement de la machine en retour.
- Le public, au sens large : spectateurs, auditeurs, visiteurs, respectivement de théâtre ou d'opéra, de concerts, d'installations. Lors de nos différents projets, nous avons rencontré deux types de réactions : d'une part, les personnes que la technologie en soi n'intéresse pas, qui ne l'imaginent pas autrement que transparente et fidèle dans leur esprit au modèle traditionnel de la scénographie, celle d'une régie¹⁶ ; d'autre part, les personnes curieuses de connaître les « coulisses » d'un spectacle et consacrant du temps à en comprendre la technologie.

¹⁶ Je conserve un souvenir vivace de certains spectateurs de la production de *La Traversée de la nuit*, qui avaient félicité l'équipe pour les mois de répétitions qu'avait dû occasionner selon eux le calage parfait des images et des comédiennes...

1.2.5. L'AVENIR DE CES ENVIRONNEMENTS LOGICIELS

Lors de la rédaction pour l'équipe *Services en Ligne* de l'IRCAM d'une réponse à l'appel « Contenus-Interactions » 2008 de l'Agence Nationale de la Recherche, sous la forme d'un projet d'Analyse et de Synthèse des Traitements Temps Réel (ASTREE¹⁷), nous avons distingué avec Francis Rousseaux des facteurs d'optimisme et des facteurs de pessimisme par rapport à l'avenir de ces environnements graphiques pour le temps réel :

- Les raisons d'être optimistes : la diffusion de ces environnements a organisé de véritables marchés depuis quelques années. Les usagers et les usages innovants se multiplient. La convergence numérique fonctionne et incite au réemploi souvent collectif de données, de maquettes, de prototypes et d'esquisses d'origines variées, issus ou non directement de ces environnements. En termes de programmation, se côtoient programmes écrits sur mesure et solutions clés en main issues de bibliothèques d'interfaces graphiques, dans un échange informel de savoirs.
- Les raisons d'être pessimistes : une partie de ces outils sont plus des prototypes que des produits industrialisés, le suivi de leurs évolutions s'avérant difficile. Les interopérabilités sont parfois fragiles, les évolutions des configurations sont souvent problématiques. Un certain nombre de créateurs ou d'opérateurs risquent de perdre tout ou partie du fruit de leurs efforts : ils pourraient voir certains de leurs investissements ruinés par l'obsolescence technique de tels ou tels composants de leurs dispositifs, dont le maintien en condition opérationnelle posera problème, empêchant finalement la préservation des dispositifs tout entiers, et donc des créations artistiques impliquées.

1.3. Problématiques liées à notre recherche

Au point de commencement de notre recherche, nous prenons donc acte de la crise de la représentation relative à la « graphosphère » et de l'irruption massive des représentations multimédia ; mais aussi de l'émergence de l'informatique temps réel dans les arts de la scène et de ses communautés de développeurs/utilisateurs ; et bien entendu, de la convergence numérique de tous les contenus qui est une condition nécessaire de ces développements.

Dans ce contexte, nous posons notre démarche exploratoire articulant réflexions et réalisations autour d'Environnements Homme-Machine pour Ressaisir les Intentions dans la Création Scénique ; tout au long de ce mémoire, nous nommerons ces derniers en utilisant l'acronyme EHMRICS. Comment les nouvelles technologies peuvent-elles intervenir en médiation des processus de conception et de diffusion de spectacles de théâtre

¹⁷ Projet accepté qui démarrera fin 2008.

et d'opéra ? Cette question rencontre évidemment un certain nombre de problématiques imbriquées, artistiques, socio-culturelles et scientifiques, que nous séparons ici.

1.3.1. PROBLEMATIQUES ARTISTIQUES

La première question est celle de la liberté des artistes opérant avec les outils des nouvelles technologies, et donc celle du « formatage » de leurs productions. Les environnements numériques se présentent sous la forme de standards auxquels il est de plus en plus difficile d'échapper, et s'appuient sur des ontologies qui décrivent des pans entiers de l'activité humaine, y compris la sphère de la créativité (par exemple les modélisations de la narration ou de la musique tonale). Il est à craindre que le phénomène n'entraîne une certaine uniformisation des œuvres nouvelles, que la signature de l'outil sur l'œuvre ne soit forte ; mais également que ces bibliothèques de « savoir créatif » *a priori*, si l'on peut dire, que véhiculent ces outils, n'enferment les créations dans des stéréotypes.

Mais il est également possible de penser avec le philosophe Werner Rammert¹⁸ que la technologie comme lieu de relations entre signes symboliques, artefacts physiques et activités humaines, est un espace d'éclosion de singularités. Et que les artistes détourneront les technologies des paradigmes dominants, comme le jeu vidéo : certains musiciens travaillent la matière sonore des sons « pauvres » (codés sur 8 bits) des premières consoles de jeu des années 1980 ; certains créateurs se saisissent des interfaces standard comme la WiiMote (télécommande des consoles Wii de la marque Nintendo) pour piloter des installations artistiques.

Il n'est donc pas impossible que les technologies contribuent à remodeler des genres artistiques, voire en suscitent. C'est le sens de la recherche que nous présenterons dans le troisième chapitre, où nous montrerons comment la notion d'EHRICS peut contribuer à modifier les approches de la mise en scène traditionnelle centrée sur des ontologies de personnages et de situations.

1.3.2. PROBLEMATIQUES SOCIO-CULTURELLES

La crise de la représentation n'est pas sans conséquences sociales et culturelles. La nécessité des représentations traditionnelles centrée sur les textes est amoindrie, entraînant des déphasages entre notre vécu et notre formation autour des arts liés à la « graphosphère ». Le système éducatif justifie de plus en plus difficilement la nécessité de lire Racine, de regarder Poussin et d'écouter Rameau.

¹⁸ RAMMERT, Werner, Relations that Constitute Technology and Media that Make Differences. In *Advances in the Philosophy of Technology*, Agazzi/Lenk (éditeurs), Newark, Delaware: Society for Philosophy and Technology, 1999, pages 281-302.

Constater la montée en puissance du multimédia et des jeux vidéo ne suffit pas. Il s'agit de prendre une distance critique par rapport à ces nouvelles représentations, pour en dégager des paradigmes, les expérimenter, notamment en contexte scénique, et ce non seulement pour en saisir la portée artistique mais également les résonances dans la société.

Dans le quatrième chapitre, nous exhibons un paradigme qui nous semble fondamental, celui de la collection figurale. Comprendre comment il opère sur scène nous donne certainement des clefs pour en saisir la portée générale dans la crise de la représentation. Et s'il fallait lire Racine, écouter Rameau et regarder Poussin en les parcourant, en les assemblant dans des espaces de collections figurales numériques ?

1.3.3. PROBLEMATIQUES SCIENTIFIQUES

La question est ici celle de notre entour technologique, de nos interfaces pour d'une certaine manière écrire et lire « le monde », en particulier ce que nous sommes et ce que nous pensons. Pris dans la confrontation entre représentations appartenant à la « graphosphère » et représentations relevant du multimédia, les artistes comme le public s'interrogent sur les interfaces d'écriture et de lecture que leur proposeront la recherche académique et le marché. Du livre au jeu vidéo, de la partition-papier soigneusement élaborée à l'installation interactive, un espace se dégage, suscitant une grande curiosité et une attente des utilisateurs au sens large de ces dispositifs : sous quelles formes l'auteur comme le lecteur pourront-ils allier les stratégies textuelles d'élaboration du sens aux modalités des espaces numériques, supportés par des machines de Turing, et constitués par le dialogue homme-machine ? Que devient « l'écriture », au sens large, dans ce contexte ? Quelles peuvent être les relations du geste de l'interaction aux stratégies textuelles ? Pouvons-nous penser ces nouvelles interfaces comme irréductibles aux classifications technologiques comme aux classifications esthétiques ?

Dans notre cinquième chapitre, nous esquissons un EHMRICS pour la conception de mise en scène et de scénographie, qui pose ces questions d'écriture, de notation et d'annotation, et expérimente le positionnement d'interfaces dans les processus créatifs scéniques.

1.4. Verrous à lever

1.4.1. VERROUS SCIENTIFIQUES

Nous relevons deux verrous épistémologiques qui posent de sérieux problèmes méthodologiques.

- Il s'agit d'imaginer des outils, interfaces et situations homme-machine pour ressaisir les intentions de concepteurs et artistes, ce qui représente presque une

gageure, car nous savons que ces processus d'élaboration reposent sur l'apparition de singularités, que rien ne saurait décrire ou prescrire¹⁹.

- Il existe un verrou méthodologique, que nous rencontrerons à chaque étape de notre démarche, qui est la difficulté à la valider. Il existe si l'on peut dire des indices de validité nécessaires, mais peut-être pas suffisants : ces recherches et réalisations fonctionnent auprès de leurs utilisateurs, et assurent correctement leur rôle dans des spectacles professionnels. Mais cela suffit-il ? Nous sommes d'une certaine manière écartelés entre « le Vrai » de nos algorithmes et de nos conceptions, et « le Beau » des spectacles produits grâce à eux. Une (hypothétique) diffusion massive de nos outils auprès du grand public ne serait même pas un gage absolu de validité. La difficulté est sérieuse. Il n'existe pas de réponse unique, mais certainement des positionnements à expérimenter pour combiner une validité « fonctionnelle » à une portée « fictionnelle », en anticipant sur la terminologie que nous utiliserons au cinquième chapitre.

1.4.2. VERROUS TECHNOLOGIQUES

Les verrous technologiques sont directement liés à cette démarche de reformulation d'intentions : comment ne pas simplement produire un format d'encodage numérique supplémentaire d'une activité humaine, la conception scénique ? Comment pérenniser non pas seulement nos outils, mais bien les productions de leurs utilisateurs ? Comment conduire le développement de tels outils dans une activité artistique marquée par le sur-mesure, et l'écart parfois immense entre un besoin posé *a priori* et sa nécessité dans le spectacle final ?

1.4.3. VERROUS SOCIO-CULTURELS

Dans le domaine socio-culturel, les verrous rencontrés sont essentiellement liés à des formes de conservatisme.

- Contre l'air du temps, il s'agit d'affirmer la nécessité que la création artistique continue, que l'art n'est pas seulement affaire de répertoire, mais qu'il renouvelle ses outils et donc altère ses paradigmes. L'introduction d'assistants, de collections et les déplacements d'usages induits amènent précisément une mémoire de la création, la possibilité de relier dans des processus créatifs homme-machine ce qui a déjà été créé et ce qui est en cours d'écriture.
- Dans les communautés des arts de la scène, notamment celle parfois quelque peu frileuse du théâtre, il faudra parvenir à diffuser ces recherches et ces pratiques.

¹⁹ ROUSSEAU, Francis, *Singularités à l'œuvre*, Sampzon : Delatour, 2006, 2 volumes, 361 et 339 pages.

2. Objectifs de la recherche et dispositifs créés

2.1. Positionnement de la recherche

Notre travail de recherche en informatique au service de la création artistique nous a conduit depuis plusieurs années à contribuer aux rencontres, aux frottements et parfois aux tensions entre représentations liées aux arts scéniques appartenant à l'univers du texte (théâtre, musique) et représentations multimédia. Nous avons conjugué deux démarches :

- La recherche, la conception et la réalisation de dispositifs multimédia originaux, pour la conception et la régie, intégrés à des spectacles professionnels de théâtre et d'opéra.
- La mise en perspective de ces démarches.

Les deux aspects sont évidemment liés : c'est en proposant des dispositifs singuliers que nous pouvons observer des déplacements d'usage, émettre des hypothèses sur des paradigmes cognitifs et élaborer des catégories d'analyse du multimédia sur scène. Réciproquement, c'est en formulant ces observations que nous pouvons imaginer de nouveaux dispositifs. C'est donc de l'intérieur, en façonnant ces environnements qui sont des conditions de possibilité, que nous réfléchissons à ces questions. Se glisser dans le multimédia interactif et l'examiner de l'intérieur nous ouvre des pistes pour imaginer des dispositifs opérants pour la création scénique, et pour collaborer avec des chercheurs en sciences humaines à la compréhension de la crise de la représentation dans les arts de la scène et peut-être plus largement dans la société²⁰.

Nous avons élaboré l'ensemble de nos prototypes multimédia dans des environnements à base de langages graphiques pour le traitement temps réel dont nous venons de décrire l'émergence. Nous nous y inscrivons à la fois pour la commodité qu'ils offrent à

²⁰ Avec l'espoir de nous « faufiler » en évitant les considérations et évaluations du multimédia interactif en termes purement économiques ou même en termes d'innovations technologiques, et en contournant la sphère des jeux vidéo qui conjugue habilement les efficacités de ces approches.

expérimenter et créer des maquettes, mais aussi en raison de leur grande diffusion dans les communautés de l'informatique musicale, et plus largement des nouvelles technologies pour les arts de la scène. Lorsque nous parlons de « temps réel » nous évoquons les environnements tels que *Max/MSP*, *PureData*, *Isadora*, etc. construits sur des langages graphiques assurant une exécution de modules orientés « traitement du signal ». La dénomination « temps réel » vient ici plutôt de la relation musicien-machine : dans les années 1980-1990, les musiciens trouvaient là enfin des paradigmes de « jeu » homme-machine acceptables, après deux décennies de « suivi » de sons fixés sur bandes par les interprètes humains (pièces mixtes des années 1960 et 1970). Il s'agit là d'instantanéité du jeu musical, mais pas nécessairement de la décision compositionnelle ; le compositeur Philippe Manoury parle « *d'un temps réel technologique mais pas musical* »²¹.

Remarquons que ce « temps réel » est pour nous une base, une condition nécessaire de prise en compte de flux, sans pour autant être une finalité : dans la plupart de nos projets, nous avons cherché à jouer sur des échelles temporelles longues, à sédimenter des niveaux de mémoire. Nous considérons la logique de flux de ces environnements en arrière-plan, privilégiant l'avant-plan des logiques d'interfaces homme-machine de haut niveau, de classification et de décision, pour la conception et l'exécution de scénographies homme-machine. Nous employons le terme de « scénographie » non pas dans son sens classique de décor, mais bien dans celui, élargi, d'une machinerie électronique interagissant avec des performers humains sur scène ; par exemple, nous y placerons aussi bien « l'orchestre électronique » d'une pièce musicale associant instruments acoustiques et électronique temps réel que le moteur génératif d'images utilisé en interaction avec des comédiens au théâtre.

Ces logiques sont à envisager dans le cadre d'une singulière relation homme-machine, celle du performer à l'ordinateur, considérée dans des situations artistiques « texto-centrés » : à savoir que notre recherche suppose l'existence de « pôles » textuels (texte théâtral, livret d'opéra, poème, partition). Nous n'avons pas traité le cas de l'improvisation dans ce travail.

Entre les mondes *a priori* antagonistes de la connaissance et de l'éprouvé, performer et ordinateur explorent l'ouverture que recèle toute œuvre ou toute conception d'une œuvre. C'est précisément en ce point que nous positionnons notre recherche : là où performer, concepteur, ordinateur, écriture, geste, développement informatique, temps réel, conception scénographique, et interactions scéniques se rejoignent.

Enfin, précisons pour le lecteur qui sera peut-être surpris que nous avons centré notre approche sur les processus d'élaboration et de régie artistiques, donc du côté des artistes. Il

²¹ MANOURY, Philippe, *Considérations [toujours actuelles] sur l'état de la musique en temps réel*, Revue l'Étincelle, n° 3, Paris : Ircam – Centre Georges Pompidou, 2007, page 8.

s'agit d'un positionnement par choix, mais qui n'ignore pas la question de la réception de ces dispositifs et de ces œuvres. Pour ces dernières, nous laissons le soin aux spécialistes d'esthétique et d'esthésique de s'exprimer. En revanche, en ce qui concerne les dispositifs, nous envisageons ici la réception dans le cas d'un utilisateur qui devient créateur de l'œuvre. Nous en montrerons un exemple dans le quatrième chapitre, avec l'application *ReCollection* de parcours/manipulation de collections numériques.

2.2. Objectifs de la recherche

Nous posons trois objectifs de recherche et un objectif transversal de réalisations :

- provoquer l'émergence de nouvelles pratiques de mise en scène et de scénographie par d'originales mises en situation performers/technologies : l'accent est mis sur la conception d'Environnements Virtuels Informés scéniques associant performers, public et machines, tant du point de vue technique que du point de vue cognitif,
- explorer des paradigmes consubstantiels aux représentations multimédia au service aussi bien de la création artistique que de la médiation vers le public : il s'agit, reprenant des analyses issues de la psychologie de l'enfant, d'imaginer des cadres interactifs de collections destinés aux créateurs comme au public,
- concevoir des dispositifs informatiques « intelligents » pour la création de scénographies numériques professionnelles, positionnés dans ses processus : l'enjeu est de susciter des interférences productives entre les « traces » au sens large (écriture, geste, musique, vidéo, etc.) des concepteurs humains et des programmes informatiques pertinents, ainsi que de permettre une meilleure autonomie de l'artiste utilisateur,
- objectif transversal : produire des outils et des environnements réutilisables, de niveau sémantique dans des environnements orientés originellement vers le traitement du signal, à mettre à la disposition de la communauté des utilisateurs des outils artistiques « temps réel ».

2.3. Dispositifs et structures développés

Pour atteindre ces objectifs, nous avons créé depuis huit années un certain nombre de dispositifs et développé des structures, dont nous donnons les grandes lignes :

- Le développement de maquettes logicielles, qui nous ont permis d'une part de valider les paradigmes inséparables des représentations multimédia que nous avons

exhibés et d'autre part d'expérimenter de nouvelles pratiques de mise en scène. Ces logiciels sont :

- Un assistant virtuel pour performer et metteur en scène, qui esquisse un environnement de conception scénographique complet. Le développement de cet assistant s'est fait en plusieurs étapes impulsées par des utilisateurs venant du théâtre et de la musique.
 - Un logiciel de création/parcours de collections numériques appelé *ReCollection*.
 - Une bibliothèque de logique floue pour l'environnement temps réel *Max/MSP*, intitulée *FuzzyLib*.
- La mise en place de cadres d'expérimentation : ce furent des ateliers technologiques²² menés depuis 2006 avec le Théâtre du Signe à Caen, associant l'ensemble d'une compagnie à la conception et la création des logiciels que nous venons de citer ; mais aussi, depuis 2004, de nombreux ateliers pédagogiques avec des classes de collégiens et leurs enseignants à Stains, Meudon et Issy-les-Moulineaux, autour de l'opéra *Alma Sola*.
 - La représentation de spectacles professionnels validant d'une certaine manière ces recherches : la pièce de théâtre inter-média *La Traversée de la nuit* en 2003, l'opéra numérique en forme ouverte *Alma Sola* en 2005, et la création théâtrale *Les petites absences* en 2008.
 - L'intervention sur des projets financés par l'Agence Nationale de la Recherche (ASTREE, REMOUS), ou par la Commission Européenne (CASPAR), en contribuant à la rédaction du dossier de réponse, et en participant à ceux qui étaient acceptés.
 - La création ou l'animation de structures de travail interdisciplinaires constituées :
 - de chercheurs en informatique dans les domaines de la fouille et de l'indexation de données (Francis Rousseaux, du CReSTIC – Centre de Recherches en Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication – de l'Université de Reims Champagne Ardenne), de la

²² Précisons que ces ateliers technologiques ne sont pas des répétitions : ce sont des séances, de deux ou trois journées, au cours desquelles les besoins artistiques exprimés par des comédiens, des musiciens, des danseurs, un metteur en scène et un auteur dramatique s'échangent avec des esquisses de solutions informatiques, à partir de supports textuels (texte de la pièce, musique) encore balbutiants.

logique floue (Isis Truck et Nicolas Jouandeau, du LIASD – Laboratoire d’Informatique Avancée de Saint-Denis –, Université Paris 8), de l’informatique musicale (Frédéric Bevilacqua, Norbert Schnell et Diemo Schwarz, de l’équipe Interactions Musicales Temps Réel de l’Ircam/CNRS),

- de chercheurs en art numérique : Frederic Fol Leymarie (Goldsmith College, Londres)
- de chercheurs en études théâtrales : Béatrice Picon-Vallin, du Laboratoire ARIAS – Atelier de recherche sur l’intermédialité et les arts du spectacle – CNRS, et Sophie Lucet du LASLAR – Lettres, arts du spectacle, langues romanes – à l’Université de Caen.
- de jeunes chercheurs ; en informatique : Murat Goksedef (D.E.A. Intelligence Artificielle et Optimisation Combinatoire Université Paris 13/ Université Paris 8) et Benjamin Roadley (Master 2 jeux et média interactifs numériques - voie recherche du Conservatoire National des Arts et Métiers) ; en art numérique : Aline Veillat (docteur de l’Université Paris 8) et Elise Aspard (docteur de l’Université Paris X – Nanterre) ; en musicologie, Pauline Birot (doctorante de l’Université Paris-Est)
- de collectifs artistiques, orientés vers l’opéra et les nouvelles technologies tels que le collectif *Hypothénuse* ou encore des compagnies de théâtre comme *Le Théâtre du Signe* à Caen.

**Trois propositions d'EHRMICS
modifiant les pratiques scéniques**

3. Un Environnement Virtuel Informé pour de nouvelles modalités de mise en scène

Etude de cas : *La Traversée de la nuit*, spectacle de théâtre inter-media

3.1. Objectif : échapper à l'omnipotence des ontologies *a priori* dans la mise en scène

3.1.1. CONSTAT : REIFICATION DANS LA SOCIETE, REIFICATION DANS LA MISE EN SCENE

Comme le montre Jean-François Perrot²³, la notion d'objet a connu un formidable essor : à la fois dans notre imaginaire collectif avec le développement de la société de consommation tel que l'analyse Jean Baudrillard²⁴, et dans l'aspiration des informaticiens à systématiquement s'orienter vers la programmation par objets. Elle n'est pas sans influence sur la création artistique, si l'on considère le « prop-opera »²⁵ de Peter Greenaway, *100 objets pour représenter le monde*.

Dans ce mouvement, les langages-objets ont connu un succès extraordinaire en quelques années. Il est fort tentant d'interpréter leurs classes comme supports informatiques des concepts, puisque très naturellement, on associe la classe au concept et l'instance à l'exemple rattachable au concept. L'héritage entre classes s'interprète comme une forme d'inclusion entre concepts. Cette propriété est fondamentale, parce qu'elle répond aux nombreux besoins de classification et d'organisation hiérarchisée du savoir sous forme de taxonomies.

²³ PERROT, Jean-François, *Des objets aux connaissances*, Journée Méthodes objets et Intelligence Artificielle : Frontières, Ponts et Synergies, Paris RIA, juin 1994.

²⁴ BAUDRILLARD, Jean, *Le Système des objets*, Paris, Gallimard, 1976, 275 pages.

²⁵ Littéralement, « opéra d'accessoires », joué pour la première fois en 1997 au Festival de Salzbourg, sur une création musicale de Jean-Baptiste Barrière.

Le succès de ces approches fait souvent oublier qu'elles réduisent toutes sortes d'entités au statut d'objet. Ainsi, des actions, des processus, des gestes, etc. vont être modélisés informatiquement par des objets, qui n'ont aucune possibilité d'exprimer l'essence profonde de ces phénomènes, les ramenant à quelques informations statiques. Pour désigner cette réduction au statut d'objet, on parle souvent de réification.

Parallèlement, la mise en scène de théâtre et d'opéra n'échappe pas à ces approches de réification.

En effet, face à un texte de théâtre, chaque metteur en scène souhaite proposer sa lecture/interprétation, ce qui suppose toujours un effort pour créer une ou plusieurs formes. Dans le cas du théâtre, elle commence classiquement par l'établissement d'une ontologie synthétique de la dramaturgie : on y décrit les personnages sous forme de types (ce en quoi le théâtre de boulevard par exemple excelle avec son trio, mari, femme et amant !), et en les « instanciant » : on indique le nom du personnage et sa situation au début de la pièce. Ainsi, dans *les Fourberies de Scapin* de Molière, Géronte est une instance du type du « vieillard ». L'ontologie d'une dramaturgie peut également être structurée par des situations-types. Personnages et situations ne sont pas pensés comme singuliers mais bien comme des cas particuliers de modèles plus larges. Comme le souligne Daniel Bougnoux²⁶, « le peintre comme le poète vise des types (universels idéaux) en gommant [...] le détail indésirable. » La mise au jour de cette forme passe par des structures, par la réduction à des types, qui permettra ensuite une « expansion » scénique dans le jeu.

Le déroulement de la pièce propose des variations d'instanciation : le spectateur découvre au fil de l'action que tel ou tel personnage est différent de ce qu'il imaginait au départ, quoique demeurant sous la bannière d'un modèle convenu. Un vieillard reste un vieillard, même si l'instanciation varie. Dans le théâtre baroque est posée la question de la permanence du personnage comme « caractère » : Molière, dans *Le Bourgeois Gentilhomme*, s'interroge sur la possibilité de transformer radicalement son Monsieur Jourdain. De même, le *Don Juan* de Tirso de la Molina (1630) est adossé à un débat théologique sur la nature humaine : l'Homme peut-il vraiment changer ? La question est de savoir si l'ontologie peut résister à d'éventuelles variations d'instanciation extrêmes.

Les chercheurs dans le domaine des fictions interactives génératives²⁷ ne se sont pas privés de ce type d'ontologies, pour instancier des situations et des narrations, par exemple dans des jeux. La mise en scène ne saurait évidemment être réduite à cette approche. Mais nous remarquons que ce type de modélisation de personnages et de situations conditionne de plus en plus l'activité dramaturgique, à mesure que l'écriture fictionnelle se présente sous le visage d'un savoir clé-en-main qui peut s'apprendre.

²⁶ BOUGNOUX, Daniel, *La crise de la représentation*, Paris : La Découverte, 2006, page 51.

²⁷ CAVAZZA, Marc, CHARLES, Fred, MEAD, Steven J., *Character-Based Interactive Storytelling*, IEEE Intelligent Systems, Volume 17, Issue 4, juillet 2002, pages 17-24.

3.1.2. ETAT DE L'ART ET PROPOSITIONS DE MEDIATIONS TECHNOLOGIQUES AU SERVICE DE MODALITES ORIGINALES DE MISE EN SCENE

Nous relevons plusieurs démarches qui utilisent les nouvelles technologies pour susciter d'autres modalités de mise en scène que celles fondées sur la réification des personnages et des situations :

- L'utilisation de la réalité virtuelle : un metteur en scène comme Mark Reaney²⁸ explore depuis plusieurs années la mise à distance de la scène via des environnements immersifs ; dans certains de ses spectacles, les spectateurs portent des lunettes de visualisation 3D qui interposent une réalité augmentée par rapport à l'action qui est jouée par de vrais comédiens. Ce dispositif altère la conception que l'on peut se faire d'une dramaturgie.
- L'utilisation des nouvelles technologies comme décor interactif : dans sa mise en scène de la pièce *Orgia* de Pasolini créée en 2001 au Granit, Scène Nationale de Belfort, le metteur en scène Jean Lambert-Wild constitue un décor à partir de représentations de cellules projetées sur un écran coupant la scène, sorte de « jeu de la vie » évoluant selon des informations physiologiques captées sur les comédiens : tension artérielle, taux de sueur, etc. Cette production est une étape dans la réflexion de ce metteur en scène sur la place des artefacts sur scène, de la magie au théâtre.

Ces conceptions du théâtre tentent de sortir de celles mises en avant par le *Storytelling*. Du point de vue informatique, ce dernier s'inscrit dans une approche formelle de la similarité reposant sur les ontologies, plus précisément sur la notion de similarité par les ontologies. Plus généralement, il s'agit d'une approche formelle en intension²⁹, dans laquelle on représente l'exemple comme une instance d'une structure générale embrassant tous les cas, et on cherche les similarités en faisant varier l'instanciation. Cette approche présente l'avantage de fournir une explication du caractère « similaire à l'exemple » de la proposition. Dans le cas où l'on disposerait de hiérarchies *a priori* de spécialisations/généralisations de concepts (ontologies), on recherche les similarités à un exemple en demeurant dans l'enceinte du concept, quitte à passer au concept plus général quand la quête est infructueuse.

En informatique, il existe une autre approche de la similarité : c'est l'approche typique de la fouille de données interactive, dans laquelle on représente l'exemple comme une spécialisation de l'ensemble des cas, et où l'on cherche d'autres spécialisations voisines, mais sans disposer par avance d'une ontologie. L'utilisateur accepte de façonner ces

²⁸ REANEY, Mark, *Virtual characters in theatre production : actors and avatars*, actes de la conférence Laval Virtual 2001, Laval, 2001.

²⁹ L'intension est l'ensemble des caractères qui constituent un concept.

regroupements à la main avec l'aide interactive de la machine, de manière *ad hoc*. Il s'agit d'une approche en extension³⁰ : façonner une similarité revient à façonner une liste de contenus de forme similaire par des opérations rectificatives successives mobilisant le calcul numérique et l'instanciation (du côté du système informatisé), en interaction interprétative avec des actions rectificatrices sur les contenus et leurs formes (du côté de l'utilisateur, provoqué par les propositions de la machine).

La recherche que nous avons menée en 2002-2003 sur le spectacle *La Traversée de la nuit*³¹ interroge ces approches assimilées à la fouille de données interactive au niveau de la mise en scène de théâtre.

3.2. Réalisation : *La Traversée de la nuit*

3.2.1. INTENTIONS

Comment abandonner le système si robuste des ontologies pré-définies et pré-validées par le texte de la pièce, sur lequel sont construites une bonne partie de nos habitudes culturelles ? Une mise en scène peut-elle ne plus se conformer à une ontologie mais tenter d'échapper à la spécification *a priori* en s'appuyant sur des interactions multimodales accumulées dans le temps ? C'est le sens de la recherche menée ici.

Texte de Geneviève de Gaulle-Anthonioz, évoquant son emprisonnement au cachot du camp de Ravensbrück à la fin de la 2^e Guerre Mondiale, *La Traversée de la nuit* porte le récit d'une mémoire. L'auteur raconte en soixante pages le souvenir d'un vécu singulier datant de plus de cinquante ans. Le choix de confronter à la scène ce texte qui, *a priori*, ne lui est pas destiné, est une mise en perspective, en profondeur, sur le thème de la constitution de la mémoire : l'auteur évoque les douloureux événements de la guerre, des souvenirs de différentes époques (aussi bien de l'enfance, de l'adolescence que de la résistance ou de la déportation) qui se télescopent et se renvoient les uns aux autres.

Pour servir ce propos et ces intentions de mise en scène, nous avons déployé un dispositif de communication redondant et multimodal entre le public, un personnage et un système artificiel complexe, centré sur une circulation intense des émotions. L'idée était de jouer de manière concurrente sur les temporalités spécifiques du sonore et du visuel sans aucun effet illustratif mais au contraire par un travail sur une matière presque « abstraite », où l'image est plutôt utilisée comme vibration lumineuse, selon un jeu de teintes portées par des formes assez floues à l'écran. Il s'agit de créer un effet de surdétermination et de saturation

³⁰ L'extension est l'ensemble des objets auxquels s'applique un concept.

³¹ *La Traversée de la nuit*, texte de Geneviève de Gaulle-Anthonioz, mise en scène : Christine Zeppenfeld, conception multimédia : Alain Bonardi et Nathalie Dazin, création images : Julien Piedpremier, musique : Stéphane Grémaud, comédienne : Valérie Le Louédec, danseuse : Magali Bruneau. Création le 21 novembre 2003 au Centre des Arts d'Enghien-les-Bains.

de l'espace de communication et de liberté, contraignant ainsi les acteurs et les spectateurs à imaginer chaque soir un espace singulier d'espérance et de lumière, en travaillant sur différentes strates de la mémoire hantée de l'auteur. De ces contraintes de mise en scène visant à amplifier la variabilité du spectacle découlent un certain nombre de choix artistiques :

- Afin de littéralement « ouvrir » le personnage, celui-ci sera incarné sur scène par *deux* acteurs : une comédienne disant le texte et une danseuse faisant mouvement très serré autour de la comédienne. Les déplacements de la comédienne sont très fortement dépendants de ceux de la danseuse, qui l'entraîne. Les deux actrices sur scène constituent les deux versants – conscient et inconscient, du même personnage selon les traditions du *shite* et du *waki* du théâtre Nô.
- La déclamation de ce texte si « chargé », sera la plus neutre possible, libérant l'imaginaire de chaque spectateur. Mais une représentation métaphorique de l'esprit de la narratrice est créée en temps réel sur un vaste écran de fond de scène, à partir de la voix de la comédienne. Ce dernier, d'une présence monumentale, clôt physiquement la scène, ouvrant ainsi le champ visuel des spectateurs. Espace métaphorique de la pensée des personnages, toujours en mouvement, symbole de vie, membrane plus ou moins respirante, à la fois hypnotique et réceptive, il agit progressivement comme une tension, un fond autonome. Métaphore des instants qui se succèdent dans un espace mental, l'écran fait surgir la pensée et la réabsorbe. Les images s'y forment à partir d'un « tissu » vidéo neutre, travaillé dans un rythme presque imperceptible pour l'œil humain : trames d'images atones, animées par des mouvements, des circulations, des superpositions générées spontanément sur l'écran en fonction d'états émotionnels particuliers dans la voix de la narratrice. La comédienne et la danseuse sont également sensibles à cette vaste image de fond de scène et plus particulièrement cette dernière, plus libre, qui peut procéder à des variations de trajectoires en conséquence.



Figure 1. Exemple d'image générée en fond de scène à partir d'états de la voix de la comédienne (en blanc : Valérie Le Louédec), entraînée par la danseuse (en noir : Magali Bruneau). Photographie : Julien Piedpremier.

3.2.2. ASPECTS ORGANISATIONNELS DU PROJET

Le tableau ci-dessous résume l'organisation du travail mené sur *La traversée de la nuit*, associant jeunes chercheurs et artistes.

Cadre du projet	Encadrants	Intervenants / Collaborations	Résultats	Publications / présentations	Financement
Conception et réalisation d'un Environnement Virtuel Informé scénique MSH Paris-Nord Centre des Arts, Enghien-les-Bains 2002-2003	Alain Bonardi	-Christine Zeppfeld, metteur en scène -Julien Piedpremier, créateur images -Nathalie Dazin, réalisatrice multimédia -Elise Aspor, doctorante, Université Paris X -Kaissa Boubehata, étudiante M1, Université Paris 8	-Patch <i>Max/MSP</i> d'apprentissage d'états de la voix de la comédienne -Patch <i>Max/MSP</i> de système multi-agents générateur d'images	-4 conférences internationales : IVA'07, AAAI'04, ICHIM'04, SMC'04 -1 article dans une revue : RIA05	-Appel à projets MSH Paris Nord -Subventions publiques au projet

Tableau 1. Organisation du projet *La traversée de la nuit*.

3.2.3. CONCEPTION HOMME-MACHINE DU SPECTACLE

La mise en scène est dans notre cas inséparable de la scénographie ; c'est bien évidemment le cas dans les productions faisant appel aux nouvelles technologies, la relation ici ne se veut toutefois pas exclusivement « fonctionnelle », d'une machinerie virtuelle posée *a priori* qui instancierait des objets multimédia selon des classes de situations et de personnages pré-définis, mais bien plutôt « fictionnelle », à savoir d'une mise en scène émergente, d'un façonnage interactif de similarités pour susciter l'envie, la fiction.

Précisons les choses en entrant peu à peu dans la définition du dispositif imaginé :

- Un réseau de neurones supervisé³² a appris des états de la voix de la comédienne pendant plusieurs mois³³ ; lors des représentations, ces états sont reconnus. Ils prescriront à leur tour (au moyen d'un système multi-agents) les mouvements de fragments d'images déformables et déplaçables sur un fond pré-défini. Ainsi, d'une manière qui garde pour les protagonistes sa part de mystère, tout en produisant des rationalités (les acteurs développent des affinités avec le dispositif, notamment lors des phases d'apprentissage), la variation émotionnelle de la voix donne naissance à un *avatar visuel*.
- Les interactions primaires entre les spectateurs et le personnage-double s'en trouvent ainsi singulièrement complexifiées et mises en abyme, chacun pouvant *voir* l'émotion qu'il/elle entend par ailleurs, et réagir en conséquence, y compris spatialement pour les acteurs, qui peuvent être tentés de faire jeu avec les mobiles projetés. On conserve alors au niveau dramaturgique le type de stratégies d'écriture citées par Philippe Manoury³⁴ au niveau musical : « *les phénomènes de mémoire, de prémonition, la construction de formes hybrides, les stratégies de préparation et de conclusion, les transitions, les proportions, les courts-circuits* », qui selon lui « *ne peuvent s'improviser* ». Ces stratégies ont ainsi pris dans le fil du temps narratif, spatialisé par le visuel qu'il suscite et éclaté par les interactions qu'il démultiplie.

3.2.4. IMPLEMENTATION DU SYSTEME INFORMATIQUE

Le système a été implémenté lors de la création du spectacle en novembre 2003 ; il a ensuite connu des adaptations jusqu'à aujourd'hui. Il sert en effet de base à un autre

³² Puis non supervisé dans la version 2 du dispositif, utilisant des cartes de Kohonen.

³³ Selon un protocole assez « intrusif » : un ordinateur portable a été placé au domicile de la comédienne dès le début de son travail sur le spectacle. Pendant environ six mois, période correspondant à l'apprentissage et à la récitation du texte par cœur, l'ordinateur a accumulé plusieurs centaines de milliers de vecteurs de descripteurs de la voix.

³⁴ MANOURY, Philippe, *Considérations [toujours actuelles] sur l'état de la musique en temps réel*, Revue l'Étincelle, Prospectives, Paris : Ircam – Centre Georges Pompidou, 2007, page 6.

spectacle sur un texte de Marcel Proust, *Sur la lecture*³⁵. Un schéma du système initial est donné ci-dessous.

Le système informatique multimédia temps réel mis en œuvre³⁶ est constitué en entrée d'un réseau de neurones (perceptron multi-couches³⁷) destiné à reconnaître des états émotionnels dans la voix de la comédienne et en sortie d'un système multi-agents générateur d'images projetées sur l'écran. Le réseau de neurones a été entraîné en mode supervisé pendant plusieurs mois par rapport à une liste d'états émotionnels choisis par le metteur en scène, et imposés à la comédienne pendant son travail d'apprentissage.

La voix en entrée est traitée phrase par phrase, chacune donnant lieu au calcul d'un vecteur de douze composantes pour chacune : quatre d'entre elles concernent la prononciation des voyelles (formants), quatre d'entre elles représentent le caractère bruité de la voix et donc la prononciation des consonnes; les quatre derniers paramètres s'attachent à la prosodie (agrégateurs sur l'amplitude de la voix). Pour chaque vecteur présenté en entrée, le réseau de neurones fournit un état émotionnel « reconnu ».

³⁵ *Sur la lecture*, texte de Marcel Proust, mise en scène : Christine Zeppenfeld, conception multimédia et composition musicale : Alain Bonardi, création images : Nicolas Hoareau, comédien : Bruno Rosaz, pianistes : Emmanuelle Swiercz et Geoffroy Couteau. Création en juin 2006 dans le cadre du Mois Molière à Versailles.

³⁶ Développé à partir de la plateforme de traitement du signal temps réel Max/MSP/Jitter. Site Internet : <http://www.cycling74.com>

³⁷ Nous avons utilisé l'objet mlp pour Max/MSP, développé par le Center for New Music & Audio Technologies, de l'Université de Californie à Berkeley.

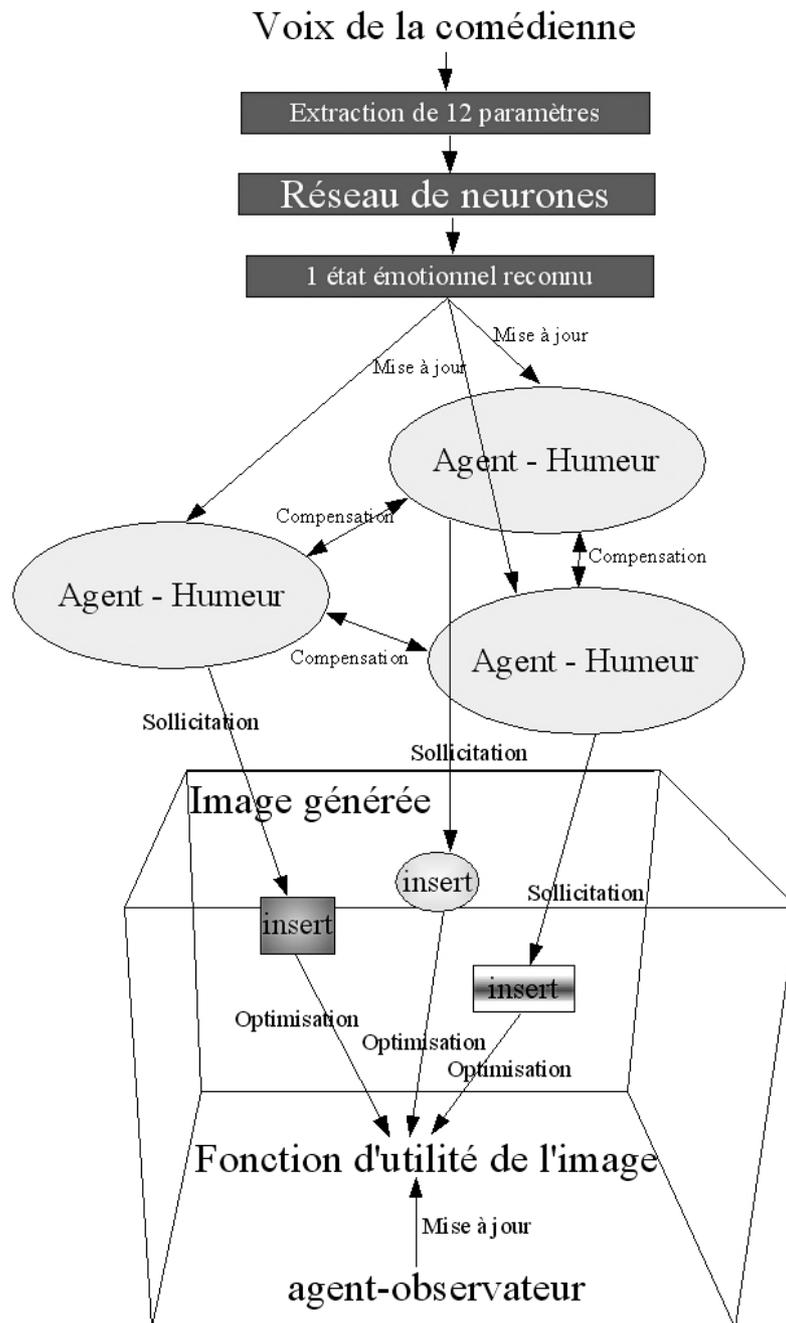


Figure 2. Schéma synoptique du dispositif pour *La Traversée de la nuit* (2003). Source : Alain Bonardi.

Le système multi-agents permet la génération en temps réel d'images projetées en fond de scène. Les agents sont des ensembles de pixels qui s'insèrent dynamiquement dans une « toile de fond » imposée : en l'occurrence, dans ce spectacle, un film figurant sur une heure et demie environ une allégorie de la fleur de lotus, de la vase à la lumière du jour, matière presque abstraite, fondée sur une vision floue, de très lentes variations de

luminosité et de teintes, et des formes « molles » très estompées. Chaque agent est associé à un ensemble de ressources multimédia, soit des images fixes soit de courtes vidéos. Peuvent varier sa luminosité (de 0 à 100%), sa taille à l'écran (étirement ou contraction), sa position, et le dosage des trois couleurs primaires (rouge, vert, bleu). Dans la version initiale, le système comportait une dizaine d'agents. Si nous considérons caractéristiques usuelles des systèmes multi-agents³⁸, nous obtenons les niveaux suivants :

- Chaque agent possède un modèle psychologique réduit de sensibilité (positive ou négative), qui réagit selon les séquences de texte, aux états émotionnels manifestés par le réseau de neurones. Il en résulte, en fonction de ce qu'indique le réseau de neurones, et en fonction des poids de sensibilité, une humeur qui conditionne leur « énergie » à accomplir les tâches à mener.
- Les agents coopèrent à un objectif qui est l'optimisation d'une fonction d'utilité de l'image, qui exprime des « buts » scénographiques, par exemple : recouvrir l'écran tous ensemble, disparaître au profit de la trame de fond, etc. La fonction d'utilité est différente pour chaque séquence de texte. Elle est évaluée par un agent-observateur. Un algorithme du gradient à pas fixe est utilisé pour l'optimisation de la fonction d'utilité.
- Les agents se coordonnent dans l'exécution de ce but commun par rapport à l'état émotionnel reconnu par le réseau de neurones, selon un mécanisme de compensation d'humeur : ceux qui sont « d'excellente humeur » (grande valeur positive) concèdent un peu de leur ardeur à ceux qui ont une humeur très négative.
- Les agents communiquent entre eux, deux à deux, à période fixe, en se transmettant leurs humeurs respectives.
- L'environnement des agents est constitué des états émotionnels reconnu par le réseau de neurones, du repère d'événement indiquant à quel endroit on se trouve dans la pièce, de valeurs propres à la séquence correspondante du texte, et des indications d'un agent-observateur indiquant les qualités de l'image globale construite.

Dans la version plus récente du système, nous avons adopté le principe d'un apprentissage non supervisé avec une carte de Kohonen³⁹. Nous avons également adopté la librairie *FTM*⁴⁰ développée par l'équipe *IMTR* de l'*IRCAM* pour *Max/MSP* : ce dernier est en effet assez dépourvu en termes de manipulation de structures, encore plus de structures

³⁸ FERBER, Jacques, *Les systèmes multi-agents*, Paris : InterEditions, 1995, 493 pages.

³⁹ Objet jit.robosom pour Max/MSP développé par Robin Meier au CIRM à Nice, téléchargeable à l'URL : <http://www.neuromuse.org/downloads/index.html>

⁴⁰ Téléchargeable sur le site de l'équipe IMTR : <http://imtr.ircam.fr>

algébriques ; *FTM* ouvre à de puissants formalismes autour des vecteurs et des matrices. Dans notre cas, l'ensemble des informations d'analyse de la voix est placé dans une matrice pour chacune des phrases.

3.3. Bilan d'étape

3.3.1. VERS DES ENVIRONNEMENTS VIRTUELS INFORMES SCENIQUES

Les mondes virtuels sont habituellement associés aux idées d'immersion ainsi qu'à des conceptions artistiques inspirées par l'univers du jeu vidéo, et très rarement à la création musicale et scénique contemporaine.

Certaines conceptions liées à la réalité virtuelle semblent pertinentes pour rendre compte des situations de jeu musical ou théâtral sur scène en dialogue avec des ordinateurs, dans des environnements scénographiques spatialisés (projections sonores et visuelles multiples). Le musicien ou le comédien sur un plateau immergé dans des espaces artistiques numériques n'incarne-t-il pas dans une certaine mesure un « avatar », au sens où il nous « représente » comme le personnage que nous manipulons dans les mondes virtuels de certains jeux ? D'autre part, la situation d'interaction qui associe le personnage, incarné par deux comédiennes, le public et le système informatique, nous entraîne sur le versant de la « réalité augmentée ». Nous remarquons que les démarches originales que nous avons évoquées, celles de Reaney, Lambert-Wild, ou les nôtres, ont en commun d'utiliser la réalité virtuelle ou la réalité augmentée comme base d'un dispositif dramaturgique.

C'est la chercheuse Indira Thouvenin qui nous a mis sur la voie des Environnements Virtuels Informés ; elle retrace ainsi⁴¹ l'évolution de la réalité virtuelle : ce domaine a engrangé les succès de recherches et progrès technologiques concernant la modélisation « crédible » du monde (par le calcul et l'affichage d'images en temps réel), puis l'interaction entre utilisateur et monde virtuel (via par exemple les interfaces à retour d'effort), et enfin la question de la « vie » dans ces univers (grâce aux comportements réalistes des objets avec des simulations physiques). Toutefois, on peut reprocher à ces environnements virtuels d'être pensés « *pour une navigation, une exploration et une interaction dans lesquels la connaissance est représentée de façon réduite ou rigide, et n'offre pas suffisamment de latitude aux utilisateurs* »⁴².

Il apparaît que les environnements virtuels sont largement concernés par la dichotomie entre classification en *intension* et classification en *extension*. En première approximation, nous avons d'un côté un intérêt pour la modélisation du monde qui s'appuie largement sur

⁴¹ Il s'agit de l'introduction de son Habilitation à Diriger des Recherches, à paraître. Nous remercions Indira Thouvenin, enseignant-chercheur au laboratoire Heudiasyc (Heuristique et Diagnostique des Systèmes Complexes) de l'Université de Technologie de Compiègne, de nous avoir fait part de ces éléments.

⁴² *Ibid.*

des ontologies *a priori* ; de l'autre, un intérêt pour la modélisation de l'interaction, où « le but est de permettre à des utilisateurs de vivre une expérience qui englobe ainsi l'expérimentation, la simulation, la formation, la collaboration et la création dans le monde virtuel » toujours selon Indira Thouvenin⁴³. D'un côté, des mondes immersifs ; de l'autre des Environnements Virtuels Informés, qui ouvrent au façonnage interactif de connaissances. Sur ce versant des environnements informés, sans entrer dans les détails, signalons pour information de très nombreux travaux, dont ceux du projet SIAMES⁴⁴ à l'INRIA, de modélisation d'environnements urbains informés pour les agents autonomes ; ceux relatifs aux environnements d'apprentissage humain⁴⁵ ; et ceux dans la sphère artistique de la création collaborative⁴⁶.

Bien que non-immersif, le système homme-machine utilisé dans *La Traversée de la nuit* relève des Environnements Virtuels Informés, proposant une élaboration progressive de connaissances formant, au fil des interactions, une base de la dramaturgie.

3.3.2. PISTES D'APPROFONDISSEMENT

Ce qui nous intéressait dans ce travail était de parvenir à affadir la spécification *a priori*, en proposant qu'une mise en scène ne soit plus contrôlée et spécifiée par des variations d'instanciation dans des ontologies de personnages et de situations, mais davantage par un glissement de situation contrôlé par la situation elle-même. Le texte de *La Traversée de la nuit* se prêtait à une telle approche, et le travail de mise en scène a été conçu non sur l'illustration des situations relatées, mais sur les états mentaux du personnage. L'approche du metteur en scène Christine Zeppenfeld était fondée sur des conditions de possibilité d'une dramaturgie : donner les bases des déplacements, les bases des rythmes de déclamation du texte, mais éviter toute indication de sentiment lié à une narration : au contraire, la consigne était celle d'une grande neutralité, permettant d'ouvrir aux plus infimes variations.

Ce type d'approche nous paraît tout à fait intéressant au théâtre. Nous l'avons expérimenté en 2006 sur une autre pièce à partir d'un texte de Marcel Proust, *Sur la lecture*. La validité de la démarche n'en reste pas moins un point méthodologique difficile, sur lequel nous attirions l'attention du lecteur dans le chapitre initial de ce mémoire. Nous notons simplement que le dispositif ainsi construit a fonctionné correctement sur scène, et qu'il a

⁴³ *Ibid.*

⁴⁴ THOMAS, Romain, DONIKIAN, Stéphane, *A Spatial Cognitive Map and a Human-Like Memory Model Dedicated to Pedestrian Navigation in Virtual Urban Environments*, Conférence Internationale Spatial Cognition 2006, 24-28 septembre 2006, Brême (Allemagne), actes de la conférence, pages 421-438.

⁴⁵ JOAB, Michelle, GUERAUD, Viviane, AUZENDE, Odette, Les simulations pour la formation. In *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain*, Monique Grandbastien et Jean-Marc Labat (éditeurs), Paris : Hermès, 2006, pages 287-310.

⁴⁶ DELERUE, Olivier, DONIKIAN, Stéphane, CLENET, Gildas, *Creating Interactive Poly-Artistic Works: The ConceptMove Project*, International Conference on Virtual Storytelling (ICVS 2007), 5-7 décembre 2007, Saint-Malo (France), actes du colloque, pages 214-218.

« fictionné » auprès de ses utilisateurs pendant plus d'une année : il a été accepté et intégré aussi bien par les comédiennes que par le metteur en scène, et a suscité des initiatives de mise en scène en situation souvent jugées intéressantes. Remarquons qu'il y a eu des soirées d'interactions réussies, et des soirées plus ternes, des représentations qui manquaient d'énergie : le dispositif ne « sauve » pas une performance moyenne.

Plusieurs pistes d'approfondissement s'esquissent devant nous, à expérimenter sur de futures productions :

- Du point de vue technique, l'ouverture à des environnements génériques multi-agents du type *Madkit*. L'objet *mxj* dans Max/MSP permet désormais de manière efficace d'inclure du code Java et ouvre de telles possibilités.
- L'extension de l'environnement virtuel à l'écriture collaborative pour les différents concepteurs du projet.
- La question de la carte, du fond, du support de l'écriture et du geste : nous ne cessons de la croiser. Tout d'abord, très directement, dans le système tel qu'il a été développé, puisque les agents s'insèrent dans la trame de fond de manière assez indifférente à ce dernier : un retour est certes donné par l'agent-observateur qui évalue globalement l'image formée, mais nous souhaiterions que la relation soit plus directe. En anticipant sur le chapitre suivant, où il sera question de collections, nous imaginons d'ouvrir ce placement à l'envie des comédiens, par exemple munis d'une interface de placement/déplacement des mobiles⁴⁷, aussi bien qu'à des critères formalisés, par exemple des calculs de similarités. Par ailleurs, nous pensons, par rapport à ce fond, à des possibilités d'annotation, de repérage presque cartographique de la « matière » multimédia engendrée, en constituant par exemple des familles de séquences obtenues, en complément des carnets de notes du metteur en scène, sur lequel figurent des esquisses de déplacements.

⁴⁷ Par exemple une télécommande de console de jeu du type WiiMote, qui, pour quelques euros, fournit une interface robuste et assez performante.

4. Du « Music-ripping » aux collections, deux paradigmes multimédia ouvrant à de nouvelles créations et médiations

**Etude de cas : *Alma Sola*,
opéra numérique en forme ouverte**

***ReCollection*, logiciel de création/parcours
de collections numériques**

4.1. Introduction : quelques considérations sur les paradigmes des représentations multimédia

L'investigation du multimédia interactif en termes de représentation se présente d'emblée comme un chantier pluridisciplinaire, que nous abordons dans notre recherche sous l'angle heuristique des arts de la scène. Il s'agit d'étudier avec précision, et à partir d'usages singuliers de dispositifs techniques particuliers, la manière dont s'explicitent sur scène la mutation des représentations en contexte technologique.

Au cours de notre étude, nous avons choisi de nous pencher sur deux paradigmes cognitifs, inséparables d'implémentations multimédia.

Le premier est le paradigme du geste créatif pré-catégoriel, permettant d'une certaine manière d'ouvrir le temps, la forme. L'hypothèse sera que dans les environnements interactifs homme-machine à base de contenus audio-numériques transformables individuellement et en relation, créer repose sur une manipulation qui ne passe plus par les catégories habituelles de la musique. Ainsi, façonner une *playlist* intéressante dans un logiciel comme iTunes, est un processus créatif dont les catégories habituelles de la

musicologie ne rendent pas compte⁴⁸. Les gestes effectués dans les logiciels de montage de son relèvent de la même logique : manipuler des échantillons (couper, coller) sans connaissance musicologique préalable. Ce type de rapport à la machine a pris une grande importance dans les activités d'organisation temporelle des fichiers audio-numériques. Nous parlons de « music-ripping⁴⁹ » en reprenant le slogan publicitaire « Rip music ! ». Que peut donner ce geste créatif en contexte scénique ? C'est ce que nous examinerons dans le paragraphe suivant, consacré à l'opéra numérique en forme ouverte *Alma Sola*.

Nous devons notre intérêt pour le second paradigme cognitif que nous souhaitons étudier, les collections, à Francis Rousseaux. Son questionnement sur les collections et les collectionneurs rejoignait en 2005 nos recherches sur la manipulation interactive de fragments artistiques, au départ dans *Alma Sola*.

Comme le remarquait notre collègue, nous sommes souvent confrontés à des collections dans la vie courante, même lorsque nous sommes loin de l'imaginer et d'en faire état. Et cela ne concerne pas seulement le collectionneur constituant une collection d'œuvres d'art (de peinture par exemple) ou le visiteur parcourant une collection accrochée à l'occasion d'un vernissage, ou encore le transporteur chargé de la déplacer pour l'acheminer vers un nouveau lieu d'exposition. Les collections sont beaucoup plus présentes dans nos vies quotidiennes que nous le pensons généralement. Dans le domaine en pleine expansion des outils d'aide à l'interprétation, de nombreuses applications informatisées actuelles ou potentielles, à y bien regarder, nous assistent dans nos rapports constitutifs de collections. Un passionné de musique qui recherche des pièces au travers d'outils interactifs de fouille par les contenus, un étudiant qui élabore un document en naviguant sur la toile pour inspirer sa création, ou encore un ingénieur qui interagit avec ses collègues pour élaborer un plan de travail, tous ces acteurs s'adonnent à des activités qui s'apparentent à des constitutions de collections.

Enfin, dans le cadre du logiciel-maquette *ReCollection*, nous présenterons cette question de constitution/parcours de collections numériques, à laquelle est liée la notion de « music-ripping » sans pouvoir y être réduite.

4.2. Première réalisation: esquisses de « music-ripping » dans l'opéra *Alma Sola*

Nous nous intéressons à la relation singulière entre un *performer* et une machine, sur scène, lorsque le premier effectue des gestes créatifs qui tentent des constructions dans le temps.

⁴⁸ ROUSSEAU, Francis, BONARDI, Alain, « Music-ripping » : des pratiques qui provoquent la musicologie, in *Musicae Scientiae* numéro spécial 2003/2004, Musical Creativity, special 10th anniversary conference issue – Award papers.

⁴⁹ Rappelons que Jack-the-Ripper était Jack l'Éventreur ; il s'agit donc « d'éventrer » la musique...

4.2.1. ETAT DE L'ART DANS L'APPLICATION DU « MUSIC-RIPPING » AUX ARTS DE LA SCENE

De très nombreuses propositions logicielles ont été faites dans le domaine du « music-ripping », tout d'abord dans l'équipement des *home studios*, puis sur scène dans le cadre de musiques expérimentales qui relèvent plutôt de l'improvisation. Le lecteur pourra se référer au remarquable site de recensement de ces ressources et de ces activités, maintenu par le chercheur Pierre Couprie⁵⁰.

Parmi d'innombrables exemples, nous pouvons distinguer le logiciel *cataRT* de synthèse musicale concaténative par corpus, développé à l'IRCAM par Diemo Schwarz, et utilisé par le collectif *theConcatenator*. En effet, il est fondé sur la notion de collection audio-numérique en excès, sur laquelle nous reviendrons en détail au paragraphe suivant.

Toutefois, les œuvres scéniques intégrant le geste de « music-ripping » au déroulement dramatique sont plus que rares. Dans le domaine de l'opéra, nous ne pouvons citer que le *Brain Opera* de Tod Machover⁵¹.

4.2.2. INTENTIONS DES CONCEPTEURS

*Alma Sola*⁵² est un opéra sur le thème de Faust. Le personnage a été imaginé non comme un vieillard pactisant avec le diable, mais selon un schéma proche du test de Turing⁵³ : un Faust, ici féminin, entrant en dialogue avec l'Autre par des moyens technologiques, essayant comme le joueur chez Turing de distinguer qui s'adresse à lui, de l'ordinateur, ou d'une Ombre méphistophélique. L'œuvre est écrite pour deux sopranos, guitare, cor et électronique.

Après un prologue où le personnage constate son impuissance et sa faiblesse dans ce vaste monde, s'offre à lui la possibilité d'un jeu avec l'apparition d'une machine informatique surpuissante, outil de dialogue, de connaissance et de contrôle. L'entrée dans le jeu se fait lors d'une courte séquence appelée le Pacte, au cours de laquelle le personnage se dédouble : l'Ombre apparaît, comme se séparant de Faust, et le jeu commence. Faust peut

⁵⁰ <http://ressources.electro.free.fr/>

⁵¹ <http://brainop.media.mit.edu>

⁵² Opéra numérique en forme ouverte (créé en octobre 2005 au Cube, à Issy-les-Moulineaux ; dernière reprise : avril 2008 à Vilnius lors d'une résidence conjointe Centre Culturel Français / Conservatoire de Vilnius / Académie des Beaux-Arts de Vilnius) ; composition et création logicielle : Alain Bonardi, livret et mise en scène : Christine Zeppenfeld, direction musicale : Ignazio Terrasi, création images : Julien Piedpremier et Nicolas Hoareau, sopranos : Caroline Chassany et Claire Maupetit, guitare : Gabriel Bianco, cor : Philippe Durand. Nous renvoyons le lecteur au site Internet consacré à cette œuvre : <http://www.almasola.net>

⁵³ Le test de Turing stipule des conditions pratiques permettant de valider expérimentalement les « altérités artificielles » produites grâce à l'ordinateur, au moyen d'un dispositif convoquant les catégories de dialogue et de connaissance : au jeu du menteur auquel se prêtent habituellement trois personnes (deux d'entre elles, cachées derrière une paroi, dialoguent par des messages écrits avec la troisième – le joueur –, qui tente d'établir laquelle des deux ment, sachant qu'il est venu qu'une et une seule des deux premières ment), un des dialoguants est remplacé subrepticement par un artefact intelligent – la notion d'intelligence recevra là, au passage, une nouvelle définition – le test étant positif si le joueur ne parvient pas à se rendre compte de la manipulation.

alors enchaîner librement des blocs pré-composés : il en existe une trentaine, regroupés en univers thématiques : amour, plaisir, opulence, pouvoir, connaissance. L'opéra cesse lorsque Faust quitte le jeu. Il s'agit d'une forme ouverte dont le modèle dramaturgique est plutôt celui du jeu vidéo ou du CD-ROM que le modèle narratif linéaire de l'opéra traditionnel.

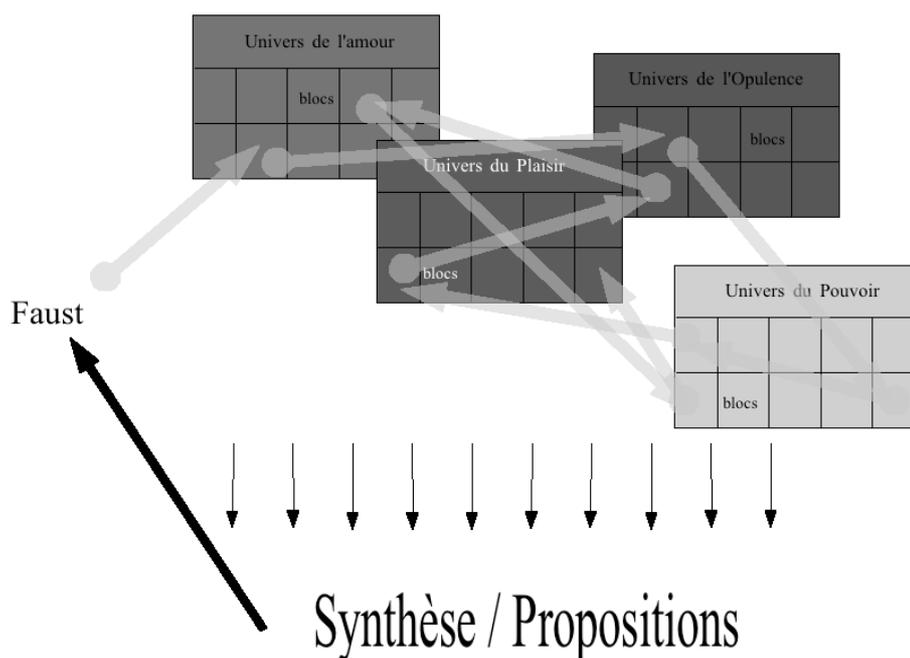


Figure 3. Schéma de principe de la forme ouverte de l'opéra Alma Sola. Source : Alain Bonardi.

Elle rejoint également les démarches des œuvres ouvertes des années 1950-1960, d'abolition de la frontière entre l'inachevé et le fini, au sens où Pierre Boulez l'entend⁵⁴ : « ce que l'on a appelé œuvre ouverte n'est autre chose qu'un refus d'accepter que les solutions proposées soient définitives, soit dans leur constitution, soit dans leur enchaînement. La responsabilité revient à celui qui manipule les données de l'œuvre, à l'aide de codes plus ou moins précis – ce qui donne des champs d'action circonscrits – ou dans une totale liberté. L'apparent achevé ne peut être que provisoire. » Et d'ajouter : « dans le même sens, mais plus restrictivement virtuel, l'œuvre parfaitement définie peut être ressentie comme un fragment de temps ou d'espace, certes limité par un début et une

⁵⁴ Ces lignes sont tirées du texte « Œuvre – fragment » de Pierre Boulez, rédigé en présentation du cycle de manifestations (concerts, conférences et colloque) que lui consacre le musée du Louvre en octobre-novembre 2008. www.louvre.fr/media/repository/ressources/sources/pdf/src_document_54208_v2_m56577569831216426.pdf

fin, cependant que ces limites nous paraissent fortement arbitraires, ne dépendant aucunement d'une absolue nécessité. » Ces citations décrivent bien le fonctionnement d'*Alma Sola*, à la fois en tant qu'œuvre ouverte, ainsi que dans ses principes de commencement et de terminaison.



Figure 4. Photographie prise lors de répétitions d'*Alma Sola* au Cube en octobre 2005, montrant une partie du dispositif scénographique. Faust : Caroline Chassany; direction musicale : Ignazio Terrasi. Photographie : Philippe Monges.

L'idée générale est la sollicitation compulsive réciproque de l'ordinateur par Faust et de Faust par l'ordinateur. La forme ouverte s'inscrit dans cette volonté. Le personnage va parcourir l'espace numérique qui représente en fait son espace mental, utilisant la machine comme microscope de ses fantasmes et de ses aspirations, traquant la puissance « computationnelle » sans désir d'une part, *versus* l'éprouvé sans puissance (puisque l'éprouvé ne saurait être prescrit ni décrit), d'autre part.

4.2.3. RESUME DU PROJET ALMA SOLA

Le tableau ci-dessous résume le travail mené sur *Alma Sola*.

Cadre du projet	Encadrants	Intervenants / Collaborations	Résultats	Publications / présentations	Financement
Conception et réalisation d'un opéra en forme ouverte assistée par ordinateur MSH Paris-Nord Le Cube, Issy-les-Moulineaux 2003-2005	Alain Bonardi	-Christine Zeppfeld, metteur en scène -Julien Piedpremier, Nicolas Hoareau, créateurs images -Nathalie Dazin, réalisatrice multimédia -Elise Aspord, doctorante, Université Paris X -Eric Gosse, étudiant M1, Université Paris 8	-Objet <i>maxhmm Max/MSP</i> de proposition de continuations de l'opéra	-3 conférences internationales : ICHIM'03, Music and Gesture 2003, CMMR 2003 -1 article dans une revue internationale : <i>Musicae Scientiae</i> 2004	-Appel à projets MSH Paris Nord -Subventions publiques au projet

Tableau 2. Tableau synoptique du projet *Alma Sola*.

4.2.4. INTERACTIONS HOMME-MACHINE

Les interactions homme-machine ont dans *Alma Sola* deux fonctions principales : d'une part, le façonnage interactif d'un parcours dans la forme ouverte. D'autre part, la formation en temps réel de l'univers sonore et visuel correspondant à l'espace mental de Faust, grâce à un ensemble de transformations à partir de captations de sa voix et de son image. Nous évoquerons ici plus particulièrement le premier point. L'œuvre fonctionne ainsi : Faust choisit un bloc, qui est joué et chanté. Puis l'ordinateur propose une ou plusieurs continuations possibles, c'est-à-dire des blocs qui lui semblent pouvoir être enchaînés avec celui qui vient d'être donné. Enfin, Faust fait son choix et le signale aux autres intervenants (musiciens et régie). Dans le tableau ci-dessous, nous montrons les différentes options retenues, dans la version de 2005 et celle de 2008.

	Manifestation des propositions de l'ordinateur	Sélection d'un bloc par Faust
Version 2005	Système lumineux d'appel vers les blocs	Faust annonce vocalement les premiers mots du bloc. Musiciens et régie se calent sur cette annonce.
Version 2008	Menu de choix à l'écran, avec une « roue du hasard » comme dans les jeux liés à des tirages au sort.	Faust choisit un bloc à l'écran avec une télécommande WiiMote. La régie suit automatiquement, les musiciens se calent sur le démarrage visuel et sonore du bloc.

Tableau 3. Tableau des modalités d'interaction homme-machine liées à la forme ouverte dans *Alma Sola*.

En 2005, lors de la création, les propositions de l'ordinateur étaient matérialisées sous forme lumineuse : chaque bloc correspondait à une zone de l'espace scénique, qui était dotée de jeux de diodes lumineuses permettant d'appeler le personnage, comme le montre la photographie ci-dessus. En 2008, lors de la dernière reprise de l'œuvre à Vilnius, les propositions étaient faites à l'écran, ce qui permet de gagner en rapidité de basculement d'un fragment à l'autre. Dans les deux versions, le spectateur est d'une certaine manière associé aux choix de Faust : d'une part, la « carte » des choix est donnée, car les blocs correspondent à des zones du plateau, que le spectateur finit par identifier, ne serait-ce qu'au niveau des univers thématiques ; d'autre part, l'espace du choix est mis en scène : sous la forme d'esquisses de déplacements lors de la création, et sous la forme visuelle d'une sorte de roue, comme dans un jeu de hasard, pour la version 2008.

4.2.5. IMPLEMENTATION DU SYSTEME INFORMATIQUE

Comment modéliser ces enchaînements, ces propositions de séquences ? Une première idée a été de choisir un des formalismes les mieux adaptés à l'étude des transitions, les modèles de Markov cachés ou HMM (Hidden Markov Models). Les observables sont les numéros des blocs joués ; nous pouvons considérer que les états cachés correspondent à des « séquences » dramaturgiques. Nous avons implémenté en C dans l'environnement temps réel Max/MSP un objet *maxhmm* supportant le formalisme des HMM.

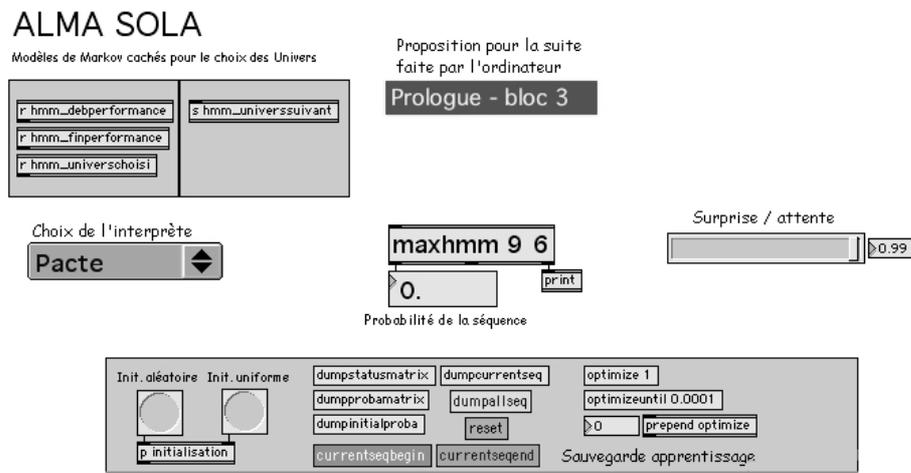


Figure 5. Une copie d'écran du patch HMM et des objets créés pour Max/MSP. Source : Alain Bonardi

4.2.6. RETOUR D'EXPERIENCE

Nous avons récupéré les matrices obtenues à l'issue des différentes représentations. Elles sont intéressantes car elles permettent de mieux appréhender les états « cachés » du système. Elles donnent les probabilités d'enchaînement des états, mais aussi, dans chaque état, la probabilité de chaque observable. Nous obtenons finalement des éléments d'un modèle dramaturgique, façonné par les interactions performer-ordinateur. De plus, comme

nous avons recueilli les matrices correspondant à plusieurs interprètes, nous pouvons les comparer, et envisager ce qui dépendrait de chaque performer et ce qui serait le « propre » de l'œuvre.

Pour aller jusqu'au bout de notre idée de geste créatif, il faudrait installer des pupitres sous forme d'écrans visualisant les partitions, permettant de basculer encore plus rapidement de fragment ou extrait de fragment à son successeur : on pourrait alors envisager une forme de mixage à la volée, dans l'esprit du « music-ripping ».

Nous avons modélisé le séquençage de blocs, mais finalement nous ne les avons pas vraiment décrits. Pouvons-nous penser à des modes de description et de classification qui seraient « opérants » ? Que dire de ce fouillis, de ce vrac des blocs d'opéra ? Surtout si l'on imagine par exemple une œuvre « sans fin », que ses concepteurs ou des internautes alimenteraient pendant de nombreuses années.

Penchons-nous maintenant sur notre second paradigme cognitif, la notion de collection.

4.3. Vers des collections numériques figurales

4.3.1. LES COLLECTIONS NUMÉRIQUES, ENTRE ORDRE ET DESORDRE

Les artistes ont toujours été très sensibles à l'aspect rebelle des collections, et l'ont évoqué de manière originale. Par exemple, Gérard Wajcman⁵⁵ pointe le statut de l'excès dans la collection : « *L'excès dans la collection ne signifie pas accumulation désordonnée ; il est un principe constituant : pour qu'il y ait collection — aux yeux même du collectionneur — il faut que le nombre des œuvres dépasse les capacités matérielles d'exposer et d'entreposer chez soi la collection entière. Ainsi celui qui habite un studio peut parfaitement avoir une collection : il suffira qu'il ne puisse pas accrocher au moins une œuvre dans son studio. Voilà pourquoi la réserve fait partie intégrant des collections. L'excès se traduit tout autant au niveau des capacités de mémorisation : il faut, pour qu'il y ait collection, que le collectionneur ne puisse pas se souvenir de toutes les œuvres en sa possession [...]. En somme il faut qu'il y ait assez d'œuvres pour qu'il y en ait trop, que le collectionneur puisse oublier une de ses œuvres, ou qu'il doive en laisser une part hors de chez lui. Disons-le d'une autre façon : pour qu'il y ait collection, il faut que le collectionneur ne soit plus tout à fait maître de sa collection.* »

Et Gérard Wajcman d'ajouter : « *Si jamais personne ne regarde une collection, c'est qu'une collection n'est pas un tout d'œuvres, mais une série indéfinie d'objets singuliers, une œuvre + une œuvre + une œuvre ...* ».

⁵⁵ FALGUIERES, Patricia, CRIQUI, Jean-Pierre, WAJCMAN, Gérard, *L'intime, le collectionneur derrière la porte*, co-édition La Maison Rouge (Paris) / Editions Fage (Lyon), 2004, 128 pages.

La *collection*, en alternative à l'ontologie formelle, apparaît comme un équilibre métastable, émanant d'une tension productive entre structures catégoriques et singularités. À l'opposé du tout organique, la collection n'existerait que pour chacune de ses parties (à l'image de la figure du troupeau dans l'évangile selon Matthieu) et, contrairement à l'ensemble, elle n'existe pas comme unité normative et égalisatrice.

Pour le visiteur ou le collectionneur lui-même, que ce soit lors d'un acte d'acquisition ou même en phase de récapitulation, la collection ne peut se donner comme un tout cohérent, hormis sous le régime réducteur de la gestion. Car de ce point de vue, même le fatras se donne comme un tout « cohérent » : les objets épars appartenant au fatras ont en commun d'être différents. En quelque sorte le fatras serait à la classification ce que le bruit blanc est au son.

4.3.2. LES COLLECTIONS, ENTRE CLASSES ET SINGULARITES

L'informatique « à objets » a été inventée pour simuler nos activités de rangement d'objets dans des structures de classes identifiées et étiquetées⁵⁶. Son succès fut, comme l'on sait, immédiat. Une tendance innovante se fait jour depuis peu, caractérisée par la mobilisation de l'informatique « à objets » pour ranger nos *collections*, considérées comme des amas d'objets en attente de rangement dans des classes *ad hoc*, qu'il s'agirait cette fois de construire « à la volée ». Comme le remarque François Pachet⁵⁷, « les problèmes nourriciers de l'informatique évoluent avec la société qui les a créés », et l'industrie de *l'entertainment*, désormais complètement numérique, nous stimule par ses problématiques de classification, de recherche, voire de création.

Les collections semblent être plus proches de l'ordre classificatoire que du désordre (qu'il se donne comme tas, amas, cohorte, vrac ou autres fatras) : à tout le moins une collection paraît-elle toujours viser un ordre ou être mise sous la coupe d'un ordre, même s'il reste provisoirement incomplet et inachevé. Le cabinet de curiosité des savants n'est-il pas exemplaire de la destination des collections, qui est de tomber sous une classification, sous le coup d'une procédure de catégorisation et, finalement, de tri ? Quant aux collections de timbres (pour prendre un autre exemple), n'attendent-elles pas leur complétude catégorielle par l'achèvement des séries *commencées* ?

En un certain sens donc, il est inévitable que l'on finisse par rapprocher les collections des classes. Pourtant, quelque chose résiste à ce rapprochement, et les collections demeurent rebelles à l'idée même de classification. C'est ainsi qu'elles peuvent se trouver repoussées

⁵⁶ PERROT, Jean-François, *Des objets aux connaissances*, Journée Méthodes objets et Intelligence Artificielle : Frontières, Ponts et Synergies, Paris RIA, 1994.

⁵⁷ PACHET, François, Les nouveaux enjeux de la réification. In *L'Objet*, 10(4), 2004.

aux « antipodes » des classes, jusqu'à côtoyer les singularités, partageant avec elles leur destin, qui est d'échapper définitivement à toute tentative de rangement⁵⁸.

4.3.3. COMMENT LES INFORMATIENS TRAITENT-ILS LES COLLECTIONS ?

Sans doute attirés et intrigués par les artistes et les philosophes qui se sont interrogés sur l'étrange statut des collections, les concepteurs de programmes « à objets » ont deviné que la modélisation des collections d'objets devait reposer sur des entités informatiques plus ou moins hybrides alliant, aux caractéristiques d'ordre privé auquel se réfèrent habituellement les objets, une modélisation des activités dans lesquelles les objets collectionnés se trouvent collectivement engagés.

L'approche implicitement retenue pour caractériser ainsi une collection est souvent parcimonieuse : elle consiste à surdéterminer l'organisation de référence privée des objets collectionnés (données-membres et méthodes) et au contraire de se contenter d'une description minimale du contexte d'activité collectif, quitte à présumer du « *devenir-classe* » de ladite collection. Un exemple-clé est l'organisation de fichiers de morceaux de musique sur ordinateur : les fichiers sont bardés de descripteurs mais l'activité d'écoute dans son élaboration temporelle n'est pas pensée dans sa durée.

Force est de constater que cette pratique a l'avantage certain de ne pas contrarier fondamentalement la modélisation « à objets ». Elle donne lieu à des applications informatisées souvent rabattues sur des besoins classiques de type classification. Ces réalisations présument souvent des attentes profondes des collectionneurs, pour le meilleur ou pour le pire. C'est ainsi par exemple que François Pachet relate⁵⁹ un phénomène curieux dont il s'est trouvé sujet malgré lui : utilisateur d'outils d'indexation de morceaux de musique, il a fini par ne plus écouter la musique qu'il téléchargeait, tellement concentré sur l'organisation de ses collections que cet enjeu s'est subrepticement substitué à l'écoute, et qu'il lui a fallu une circonstance anodine pour constater que ses haut-parleurs étaient débranchés depuis longtemps, sans que son activité fébrile d'indexation n'ait faibli en aucune façon.

C'est qu'il faut distinguer ici les collections figurales des collections non-figurales. Cette subtile distinction, introduite dès les années soixante-dix par Piaget⁶⁰ et ses équipes de recherche en psychologie de l'enfant, éclaire en effet la situation d'un jour intéressant : d'une part, il existe certes des collections (non-figurales) qui s'accommodent en effet plutôt bien de l'approche parcimonieuse au niveau du contexte que nous venons d'évoquer, parce qu'elles sont affranchies de toute intrication avec leur spatialisation (et en cela déjà toutes

⁵⁸ ROUSSEAU, Francis, *Singularités à l'œuvre*, Sampzon : Delatour, 2006, 2 volumes, 361 et 339 pages.

⁵⁹ PACHET, François, Noms de fichiers : le Nom. In *Revue du groupe de travail STP* (Sujet, Théorie et Praxis), Maison des Sciences de l'Homme Paris, EHESS, 2003.

⁶⁰ PIAGET, Jean, INHELDER, Barbet, *La psychologie de l'enfant*, Paris : Presses Universitaires de France, 1966.

proches des classes, dont elles n'ont à envier que la complétude formelle) ; d'autre part, il existe aussi des collections dites *figurales* parce que leur disposition dans l'espace se fait selon des configurations spatiales qui prescrivent leur signification concurremment aux considérations typiques de la signification des classes : « *En un mot, la collection figurale constituerait une figure en vertu même des liaisons entre ses éléments comme tels, tandis que les collections non-figurales et les classes seraient indépendantes de toute figure, y compris les cas où elles sont symbolisées par des figures et malgré le fait qu'elles peuvent ainsi donner lieu à des isomorphismes avec des structures topologiques.* »

Or ce sont précisément ces collections figurales dont l'informatique « à objets » se laisse de plus en plus fréquemment entraîner à promettre la modélisation efficace, poussée par une demande sociale accrue que concernent directement la fouille de données numériques en ligne, la navigation interactive dans des contenus multimédia ou la recherche d'information au travers de sources multiples. En effet, qu'est-ce qu'écouter de la musique en ligne si ce n'est constituer une collection, quelquefois certes fugace et éphémère, mais toujours *figurale* en ce sens que sa constitution singulière, sous condition fragile de la continuation, dépend étroitement de la figure temporelle de son déploiement dans la durée ?

4.4. Deuxième réalisation : l'application *ReCollection*

Dans cette perspective de recherche de collections figurales, un démonstrateur logiciel a été conçu et développé en 2007 lors du stage de Benjamin Roadley, étudiant de Master 2 du CNAM (Master Multimédia), conjointement à sa dernière année à l'Ecole Centrale d'Electronique. Nous l'avons encadré avec Francis Rousseaux.

L'opéra numérique *Alma Sola*, présenté au début de ce chapitre, constitue le terrain d'expérimentation. Nous souhaitons développer une borne interactive permettant à l'utilisateur de constituer/parcourir une collection de fragments de cet opéra (dont le principe est précisément celui d'être une forme ouverte numérique).

4.4.1. ETAT DE L'ART DANS LE DOMAINE DES COLLECTIONS NUMERIQUES

A la frontière du « Music-ripping » et des collections sont apparues de nombreuses applications, la dernière en date étant l'option « Genius » du logiciel *iTunes* d'Apple, qui établit des listes de morceaux à partir de pré-sélections par affinités, dans l'esprit du projet Semantic Hifi coordonné par l'IRCAM en collaboration avec SONY, qui proposait déjà un *Music-Browser*⁶¹ fonctionnant par critères explicites et regroupement implicites.

⁶¹ PACHET, F., AUCOUTURIER, J.-J., LA BURTHE, A., ZILS, A. and BEURIVE, A. The Cuidado Music Browser : an end-to-end Electronic Music Distribution System. In *Multimedia Tools and Applications*, 2006. Special Issue on the CBMI03 Conference.

Dans le domaine des collections envisagées spatialement, de très nombreux travaux ont été menés. Citons parmi eux le projet IMEDIA de l'INRIA-Rocquencourt, en partenariat avec des industriels tels que l'INA, ainsi que plusieurs projets européens, AceMedia, DELOS2, et MUSCLE (pour les années 2004-2007), liés à la création de services multimédia intelligents, centrés sur les contenus sémantiques et l'expérience de l'utilisateur. L'objectif premier du projet IMEDIA est de développer des méthodes d'indexation par le contenu, de recherche interactive, et de navigation dans des bases d'images.

De nombreuses recherches se penchent sur la question de la visualisation interactive, qui est liée à celle des collections. Des systèmes comme *SpotFire*⁶² s'intéressent au filtrage dynamique, d'autres comme *Pad++*⁶³ ou *Piccolo* au zoom sémantique.

4.4.2. RESUME DU PROJET RECOLLECTION

Voici un aperçu du projet *ReCollection* :

Cadre du projet	Encadrants	Intervenants / Collaborations	Résultats	Publications / présentations	Financement
Conception et réalisation d'un logiciel de parcours/constitution de collections numériques Université de Reims, CNAM, ECE 2007-2008	Alain Bonardi, Francis Rousseaux	Benjamin Roadley, étudiant en M2, CNAM et ECE.	Logiciel ReCollection	-4 conférences internationales : SMC'07, CIDE10, DCCA'07, IADIS2007	-Université de Reims

Tableau 4. Tableau synoptique du projet *ReCollection*.

4.4.3. LA COLLECTION NUMERIQUE DE FRAGMENTS D'OPERA

Un objet de la collection est constitué typiquement d'une image, d'un son et d'un texte. Ces composantes correspondent à des fichiers classiques stockés sur disque (image bitmap, son wave et .txt). Les images de la collection sont des photographies du spectacle. Les sons sont des enregistrements de quelques secondes, comportant une phrase chantée, avec un ou plusieurs instruments en accompagnement. Enfin, les textes reprennent les phrases chantées. A ces fichiers sont associés des descripteurs spécifiques à chaque média.

⁶² <http://stn.spotfire.com/stn/Default.aspx>

⁶³ http://www.sigchi.org/chi95/proceedings/demos/pad_bdy.htm

Signalons que chaque objet possède un nom, ainsi qu'un identifiant unique, que l'utilisateur ne voit pas.

Dans le prototype actuel, seuls quelques descripteurs sonores sont utilisés. Ils proviennent d'une analyse réalisée par un patch *Max/MSP ad hoc*, avec l'objet *analyze*⁶⁴.

Le logiciel organise deux types d'espaces pour ces fragments d'opéra : une ou plusieurs réserve(s) et une ou plusieurs exposition(s). Il implémente deux modes d'actions classificatrices : par similarité calculée, et par contiguïté « désirée ».



Figure 6. Copie d'écran d'un agencement de l'exposition. Source : Benjamin Roadley.

⁶⁴ <http://web.media.mit.edu/~tristan/maxmsp.html>

4.4.4. L'ESPACE DE LA RESERVE

Pour en revenir à notre image de la galerie artistique, les collections sont en général constituées d'un très grand nombre d'oeuvres. Cet excès est l'une des caractéristiques nécessaires à la définition d'une collection, comme nous l'avons vu. Lorsque l'on parcourt une réserve, on tombe sur des oeuvres une par une, plutôt aléatoirement, et l'on n'a aucune vue d'ensemble sur elles. Dans ce cas, le collectionneur n'a d'autre choix que de passer en revue les éléments un par un, jusqu'à ce qu'il trouve un objet intéressant.

Dans le logiciel, lorsque l'utilisateur visite la réserve, un seul objet est affiché. Lorsqu'il souhaite visionner un autre objet, celui-ci est sélectionné aléatoirement parmi les objets encore non parcourus de la réserve. Toutefois, pour aider l'utilisateur, un historique des cinq derniers objets affichés est accessible sur la gauche de l'écran. Il peut cliquer sur l'un d'eux pour l'afficher à nouveau.

Enfin, lorsqu'il trouve un objet intéressant, il peut le sortir de la réserve. Celui-ci est alors stocké en mémoire, dans une sorte de tas contenant les objets à transférer. Lorsque l'utilisateur retournera à l'exposition, ce tas sera affiché, et il pourra placer ce ou ces nouveaux objets selon ses envies. Sur la copie d'écran ci-dessous, un objet est affiché : on voit la photo, le texte en-dessous, et le son associé est joué automatiquement. Sur la gauche, on distingue l'historique récent de la visite. Puis, en haut à gauche trois carrés violets, dont celui du milieu violet clair. Cela indique que notre collection comporte trois réserves et que l'utilisateur se trouve actuellement dans la deuxième.

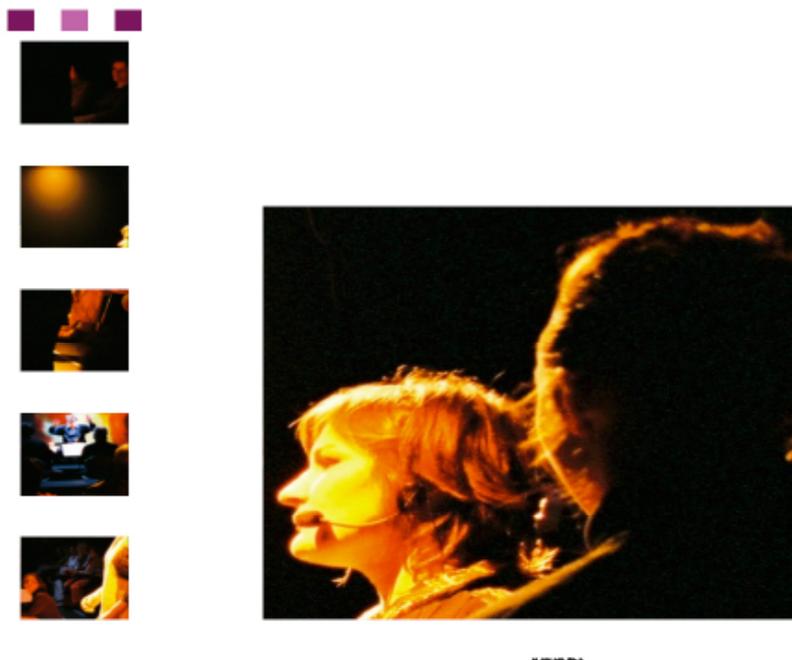


Figure 7. Une copie d'écran de la réserve. Source : Benjamin Roadley.

4.4.5. L'ESPACE DE L'EXPOSITION

Toute collection comporte au-moins une exposition, et à chaque instant au-moins un objet de la collection se trouve dans une de celles-ci.

Le logiciel *ReCollection* permet de constituer une exposition en important/exportant des objets depuis ou vers la réserve, puis de répartir ces objets dans un espace à deux dimensions et demi (x, y et échelle), inspiré du logiciel *Pad++*. L'exposition est aussi un lieu d'exploration, autonome ou guidée, qui sera fortement dépendante de la répartition spatiale des objets préalable. Pour explorer l'exposition, l'utilisateur peut déplacer son point de vue horizontalement et verticalement, puis zoomer et dézoomer. Un mode de visite guidée permet de définir/suivre un chemin fixé parmi les objets.

La répartition des objets dans l'espace être automatique ou manuelle. Le système dispose les objets automatiquement de deux manières différentes :

- La première méthode consiste à calculer les coordonnées spatiales de chaque objet de la collection, ainsi que sa couleur, en fonction des descripteurs sélectionnés par l'utilisateur. Par exemple, celui-ci pourra choisir d'affecter l'énergie sonore à l'axe des abscisses, la luminosité à l'axe des ordonnées, et le temps moyen entre deux attaques sonores à la couleur. L'utilisateur peut aussi affecter un seul des axes, pour aligner les objets sur une droite. Cette fonction est directement inspirée du logiciel *cataRT*, mais, comme nous le verrons ci-dessous, le mode manuel peut venir compléter cette répartition automatique lorsque l'utilisateur n'est pas satisfait. Ce mode est celui de la similarité, relevant de l'aspect non-figural des collections.
- La seconde méthode pour répartir automatiquement les objets consiste à permettre à l'utilisateur de sélectionner un échantillon de l'exposition. Une analyse est ensuite effectuée sur les descripteurs de ces objets, afin d'en tirer les traits caractéristiques, et de répartir tous les objets de la collection selon ces traits. Ce mode est celui de la contiguïté, relevant de l'aspect figural des collections. Ici, une analyse en composante principale calcule une nouvelle base dans l'espace des descripteurs, qui est généralisée à l'ensemble de la collection.

4.4.6. RETOUR D'EXPERIENCE

Avec *ReCollection*, nous proposons une première réalisation sur le thème des collections numériques non-figurales. Certes, le modèle est incomplet, il manque notamment la notion de carte dans laquelle se positionne la collection. Le logiciel est de plus assez fermé, et ne peut s'adapter à d'autres organisations en similarité et en contiguïté.

Toutefois, nous constatons que, partant du même matériau que dans l'opéra *Alma Sola*, nous le manipulons complètement différemment, à partir de descripteurs liés à chaque fragment. Nous avons donc exhibé deux approches différentes mais complémentaires de la collection : celle du « music-ripping » liée à la notion de collection temporelle et de geste ; celle des collections non-figurales, inséparables de l'espace de leur constitution.

Cette double approche constitue un premier pas ; nous devons évidemment aller plus loin, et tenter d'unifier dans une compréhension commune collections temporelles et collections spatiales.

Nous constatons toutefois que le paradigme de la collection est « productif » en termes artistiques : il est à la base de l'écriture d'un opéra, *Alma Sola*, dont le principe même intrigue le spectateur ; mais également d'un mode de création de formes nouvelles, d'opéras en collection que l'on imagine constitués par des spectateurs « jouant » aussi bien sur des bornes interactives que des téléphones portables. Nous imaginons que collections temporelles et collections non-figurales auront toute leur place dans de futurs EHMIRCS.

5. Ressaisir les intentions lors de la conception de spectacles vivants interactifs

Etude de cas : *Les petites absences*, création théâtrale et musicale

5.1. Objectif : constituer des EHMRICS pour ressaisir les intentions

5.1.1. CONSTAT : LES PLATEFORMES ACTUELLES « ABSORBENT » LES INTENTIONS DE LEURS UTILISATEURS

A l'heure actuelle, la plupart des plateformes de développement liées à la création artistique scénique reposent sur les logiciels graphiques temps réel que nous avons décrits dans notre partie introductive. Il s'agit en général d'y produire des modules interactifs à partir d'une conception de l'œuvre, le plus souvent par prototypage et affinage. Mais le développement sur ces plateformes est bien différent des écritures auxquelles on l'associe rapidement, par analogie de domaine : l'écriture musicale et l'écriture de programmes. En effet, l'écriture musicale s'appuie sur les deux paradigmes forts que sont la notation et l'instrument, et de ce fait supporte des systèmes d'intentions ; nous pouvons précisément venir les interpréter dans le rapport à ces deux paradigmes. Par leur rapport à la grammaire et à l'arithmétique, la programmation structurée ou la programmation objets permettent également à celui qui programme comme à celui qui débogue d'imaginer des systèmes d'intentions.

L'informatique musicale temps réel à base de langages graphiques peine à se glisser dans ce type d'écriture et de lecture⁶⁵. Les patches encodent un ensemble de connaissances et d'intentions qui sont formatées selon un modèle qui les réduit à des flux de signaux. D'une certaine manière, alors que l'approche objets dont nous parlions dans le troisième chapitre peine à se saisir des flux, les environnements temps réel à base de flux manipulent en revanche difficilement les structures et les interfaces, et encore moins bien le temps (réduit à un signal).

C'est pourquoi les patches codés dans *Max/MSP* ou *PureData* sont difficiles à relire et maintenir. Le fouillis qu'autorise la simplicité du mode de développement (par connexion, équivalent d'un fil électrique) n'arrange pas les choses, et l'on comprend bien pourquoi leurs concepteurs peinent à les relire dès qu'ils en ont terminé l'agencement.

5.1.2. ETAT DE L'ART ET PROPOSITIONS DE PRISE EN COMPTE DES INTENTIONS

Un certain nombre de développeurs et d'artistes, agacés par les défauts des plateformes du graphiques temps réel, ont commencé à produire et diffuser des environnements dans lesquels l'intention du concepteur ne serait pas noyée dans les primitives du traitement du signal. Plusieurs axes de travail se sont dégagés :

- L'écriture temporelle de l'interaction : si l'on considère l'informatique musicale avant tout sous l'angle du déclenchement, on imagine la nécessité d'un codage temporel d'une partition interactive, autorisant une certaine souplesse dans la mise en œuvre par un performer humain. Le modèle sous-jacent est la partition interactive ou « partition virtuelle » au sens de Philippe Manoury⁶⁶, que l'on aurait simplifiée dans ses modalités expressives au profit d'une modélisation temporelle forte. Les travaux⁶⁷ d'Antoine Allombert, Myriam Desainte-Catherine et Gérard Assayag sur le système *iScore* donnent une bonne idée de l'état de l'art du domaine⁶⁸.
- L'écriture spatiale de l'interaction : un certain nombre de chercheurs s'orientent vers une « spatialisation » de la conception et du rendu d'œuvres interactives⁶⁹. Nous avons travaillé sur cette piste au cours de notre propre recherche de thèse et

⁶⁵ Bonardi, Alain, Barthelemy, Jérôme, The preservation, emulation, migration, and virtualization of live electronics for performing arts: An overview of musical and technical issues, *ACM J. Comput. Cultur. Heritage* 1, 1, Article 6 (June 2008), 16 pages.

⁶⁶ Philippe Manoury lui-même réfléchit à « une écriture nouvelle pour la musique de synthèse qui permettrait également d'être un outil puissant pour la composition » en collaboration avec Miller Puckette. Cf. MANOURY, Philippe, *Considérations [toujours actuelles] sur l'état de la musique en temps réel*, Revue l'Étincelle, Prospectives, Paris : Ircam – Centre Georges Pompidou, 2007.

⁶⁷ ALLOMBERT, Antoine, DESAINTE-CATHERINE, Myriam, ASSAYAG, Gérard, *De Boxes à iScore : vers une écriture de l'interaction*, 13^e Journées d'Informatique Musicale, actes pages 79-86, Albi, 27-29 mars 2008.

⁶⁸ DESAINTE-CATHERINE, Myriam, ALLOMBERT, Antoine, *Interactive scores : a model for specifying temporal relations between interactive and static events*, *Journal of New Music Research*, Vol. 34, N° 4, 2005.

⁶⁹ DANNENBERG, Roger D., *Interactive Visual Music: a personal perspective*, *Computer Music Journal*, 29(4) :25-35.

abouti au système ALMA⁷⁰ de composition de « scènes musicales » spatialisées. En général, ces approches proposent des espaces tri-dimensionnels dans lesquels sont intégrés des contenus visuels et sonores. Le modèle sous-jacent est le paysage sonore, que le visiteur vient parcourir et altérer en situation (déclenchements et transformations). Les travaux d'Antonio de Sousa Dias⁷¹ sur l'application *Installason* et les différents usages de la plateforme *VirChor* développée par Christian Jacquemin⁷² sont représentatifs de cette orientation de recherche.

- La recherche sur des « grammaires » de l'interaction : certains chercheurs se sont intéressés à la modélisation de l'interaction en relation avec des langages de programmation. Antonio Camurri et son équipe ont développé un système appelé Harp⁷³, comportant deux niveaux de manipulation de connaissances musicales : un environnement orienté objets pour la gestion du son (échantillons, fragments de codes, algorithmes) et un environnement symbolique de gestion des règles compositionnelles et des partitions de plus haut niveau. Yann Orlarey a quant à lui développé un langage, appelé Faust⁷⁴, de description générique de traitements temps réel.

Notre recherche se polarise avant tout sur le processus de conception de l'œuvre interactive, tentant de s'y glisser pour permettre d'en exhiber, dans le dialogue homme-machine, des intentions. Ce qui ne veut pas dire que nous ne serons pas amenés à utiliser tel ou tel composant développé et diffusé par des chercheurs abordant l'une des trois directions que nous venons de citer. Enfin, nous avons travaillé sur un environnement destiné à la scénographie et au théâtre plutôt qu'à la composition musicale – cette dernière n'est évidemment pas exclue –, et nous l'avons expérimenté dans le cadre du projet *Les petites absences*.

⁷⁰ BONARDI, Alain, ROUSSEAU, Francis, *Creating "Hypermusic" Spaces*, Conférence RIAO 2000 (Recherche d'Information Assistée par Ordinateur 2000), Collège de France, Paris (France), 12-14 avril 2000, actes du colloque (édités par le C.I.D., Centre de Hautes Etudes Internationales d'Informatique Documentaire), volume II, pages 1280-1287.

⁷¹ DE SOUSA DIAS, Antonio, *Installason : un éditeur et gestionnaire d'espaces musicaux navigables*, 13^e Journées d'Informatique Musicale, actes pages 14-22, Albi, 27-29 mars 2008.

⁷² JACQUEMIN, Christian, *Architecture and Experiments in Networked 3D Audio/Graphic Rendering with Virtual Choreographer*, actes de la Conférence Internationale Sound & Music Computing (SMC'04), Paris, 20-22 octobre 2004.

⁷³ CAMURRI, A., CATORCINI, A., INNOCENTI, C., MASSARI, A., *Music and multimedia knowledge and reasoning: the harp system*, Computer Music Journal, 19(2):34-58.

⁷⁴ ORLAREY, Yann, FOBER, Dominique, LETZ, Stéphane, *An algebraic approach to block diagram constructions*, actes des Journées d'Informatique Musicale 2002 (JIM 2002), Marseille : GMEM, 2002.

5.2. Réalisation : Vers un assistant virtuel de metteur en scène et performer

5.2.1. INTENTIONS DU PROJET « ASSISTANT VIRTUEL »

Nous avons développé un projet d'assistant virtuel de metteur en scène et performer, qui aborde la problématique selon deux axes de travail :

- La spécification de l'interaction homme-machine.
- La conception scénographique comme façonnage émergent de formes, dans le fil des recherches présentées au chapitre 3, autour de *La traversée de la nuit*.

Ces deux volets nous renvoient à deux paradigmes de l'interaction homme-machine temps réel en contexte scénique, au sens large :

- Le paradigme de la partition⁷⁵ : il y a dans tout texte écrit, qu'il soit une partition ou un texte de théâtre, l'espace qu'ouvre l'interprétation, cet écart entre le réalisé et l'attendu ; c'est dans ce sens que Philippe Manoury définit les « partitions virtuelles »⁷⁶ : « une partition virtuelle est une organisation musicale dans laquelle on connaît la nature des paramètres qui vont être traités, mais pas toujours la valeur exacte qu'ils vont recevoir le moment voulu. Une partie de ces paramètres sera fixe et ne changera pas d'une interprétation à l'autre, une autre sera influencée par la captation d'événements extérieurs (un micro, par exemple) qui sera analysée et traitée suivant certaines règles de composition. » Dans cette perspective, l'accent est mis sur une résolution analytique de plus en plus fine dans la captation de tel ou tel son au sein d'un ensemble ; et désormais dans le suivi de tel ou tel geste du musicien, intégrant une dimension visuelle et corporelle indispensable : « Le fait que des musiciens puissent jouer à l'intérieur d'un temps commun est un phénomène grandement visuel. C'est par un petit signe de la tête ou du bras qu'ils commencent ensemble. La continuité du geste du chef d'orchestre envoie sans interruptions, des signaux prédictifs qui orientent les actions musicales dans la direction d'un futur proche. On devine où va «tomber» le deuxième, le troisième puis le quatrième temps. »⁷⁷. La plupart des compositeurs critiques du temps réel, comme Marco Stroppa⁷⁸, demeurent toutefois dans ce paradigme.

⁷⁵ Lorsque l'on examine la partition d'*Anthèmes 2* de Pierre Boulez pour violon et électronique temps réel, on est frappé par l'inscription des actions des différents modules électroniques : en effet, Andrew Gerzso, assistant du compositeur, a dans la mesure du possible réécrit selon une notation musicale les transformations opérées par les différents modules informatiques.

⁷⁶ *Ibid.*, page 8.

⁷⁷ *Ibid.*, page 10.

⁷⁸ STROPPIA, Marco, Live electronics or live music ? towards a critique of interaction. In *Contemporary Music Review*, 18(3):41-77, 1999.

- Le paradigme de l'instrument, plutôt que celui de la partition. Envisageons ici l'instrument sous son double visage phénoménologique : l'apprentissage et la surprise. Les dispositifs interactifs peuvent ouvrir la porte aux moments où les similarités – donc une forme de sens –, se façonnent dans le dialogue homme-machine à partir des situations qui se présentent. Comme l'instrument de musique que nous ne cessons de travailler et qui ne cesse de nous surprendre, ils donneront lieu à l'émergence d'*inattendus*. Est émise ici l'idée – qui peut surprendre de prime abord – d'une informatique temps réel comme condition de possibilité de la singularité. Cette approche nous fait immédiatement penser à l'improvisation, mais l'ouverture nous intéresse plus que l'improvisation, pour reprendre les termes dans leur sens traditionnel. Dans les projets que nous avons menés, nous avons toujours utilisé des textes posés *a priori*, en dégagant des conditions de possibilité pour cet *inattendu*. Ce dernier sera sans doute modeste, car nous ne savons pas le « calculer » dans nos ordinateurs, dans le sens d'une élaboration esthétique automatique ; nous pouvons juste espérer le susciter. De plus, il est fragile en situation de jeu, pour des raisons d'accoutumance des performers au logiciel ou au dispositif : peu à peu, l'artiste « s'accorde » avec son « instrument ». Mais on peut alors espérer un renversement de perspective comme chez le musicien qui maîtrise son instrument, à savoir que le performer tente une « interprétation », générant à son tour un certain inattendu.

Au cours de nos travaux, nous avons cherché un certain équilibre, en distribuant les analyses, les fonctionnalités et les développements, autour de ces deux paradigmes.

5.2.2. ASPECTS ORGANISATIONNELS DU PROJET

Le projet « Assistant virtuel » a été articulé en trois phases, et un projet adjacent :

- Une première phase, exploratoire, a été menée pour tester la chaîne complète de traitements, depuis l'acquisition de séquences de jeu d'un performer jusqu'à la classification floue de ses états, sur des fragments de l'opéra *Alma Sola*⁷⁹. En entrée, un patch *EyesWeb*⁸⁰ pour l'extraction de descripteurs liés au geste et un patch *Max/MSP* concernant les descripteurs liés à la voix de la chanteuse, suivis d'un module batch de logique floue. Nous ne reviendrons pas sur ce volet, qui a déjà donné lieu à publication.
- Une deuxième phase a consisté à reprendre l'ensemble de ces traitements en les adaptant à une et une seule plateforme, *Max/MSP*, et en prototypant l'application en situation de création théâtrale, sur le spectacle *Les petites absences*, aux côtés du

⁷⁹ Cf. chapitre 4 de ce mémoire.

⁸⁰ Logiciel graphique spécialisé dans le traitement temps réel de la vidéo et du geste, déjà évoqué dans notre introduction.

metteur en scène Marco Bataille-Testu. Nous y revenons en détail dans un paragraphe ultérieur.

- La troisième phase est inséparable de la deuxième, puisqu'elle concerne le développement d'une bibliothèque de logique floue *Fuzzy Lib* pour l'environnement temps réel *Max/MSP*, à la fois générique et déjà pensée pour la conception de maquettes interactives de spectacles. Nous présentons cette librairie dans un paragraphe ultérieur.

- Enfin, nous mentionnons un projet adjacent, *Reviviscence*, dont l'enjeu était la capacité à remonter aux Etats-Unis en décembre 2008 une œuvre du compositeur Marc-André Dalbavie, *Diadèmes*, pour alto solo, ensemble et électronique, créée en 1986 avec des dispositifs électroniques dont certains sont désormais obsolètes (synthétiseurs Yamaha TX 816 pour la synthèse FM). Ce court projet, intégré au projet européen CASPAR⁸¹ de préservation du patrimoine artistique, culturel et scientifique, a ouvert un champ de réflexion sur la notion d'intention du créateur. Pourquoi le compositeur avait-il choisi la synthèse FM en 1986 ? Pourquoi acceptait-il des transformations profondes de son « instrumentarium » d'un côté (passage de la synthèse FM au sampler) et seulement des mises à jour de certains traitements (cas de l'harmoniser et de la réverbération) ? La question de l'intention est évidemment fortement liée à celle de l'authenticité, qui, au fil des mois, est devenue une question centrale du projet CASPAR. Dans la musique mixte associant musiciens et moyens électroniques, les facteurs d'évolution et de changement dus aux évolutions technologiques s'ajoutent à ceux que connaissait déjà l'interprétation : nous nous demandons comment juger que tel ou tel chef d'orchestre respecte les intentions du compositeur. Mais désormais nous devons aussi nous demander comment juger des résultats produits par les machines⁸² lorsque l'on change d'ordinateur ou de capteurs, lorsque les musiciens humains en entrée du système jouent plus ou moins vite, plus ou moins haut, lorsque le logiciel est réécrit ? Le champ des questions est aussi immense que passionnant. Nous pensons qu'une partie des réponses – certes, peut-être modeste – vient de la conception d'astucieuses interfaces homme-machine, innervées dans les processus de création.

Le tableau ci-après résume les travaux menés.

⁸¹ Cf. le site Internet du projet : <http://www.casparpreserves.eu/>

⁸² GUERCIO, Mariella, BARTHELEMY, Jérôme, BONARDI, Alain, *Authenticity Issue in Performing Arts using Live Electronics*, 4th Sound and Music Computing Conference (SMC 07), actes pages 226-229, Lefkada, Grèce, juillet 2007.

Cadre des phases menées	Encadrants	Intervenants / Collaborations	Résultats	Publications / présentations	Financement
<p><i>Phase 1</i></p> <p>Exploration liminaire</p> <p>MSH Paris-Nord</p> <p>2005-2006</p>	<p>Isis Truck et Alain Bonardi, MCF Université Paris 8</p>	<p>-Murat Goksedef, étudiant DEA IA Paris 8/Paris 13</p> <p>-Christine Zeppfeld, metteur en scène</p> <p>-Claire Maupetit, soprano</p>	<p>-Patch <i>EyesWeb</i> d'analyse du geste</p> <p>-Patch <i>Max/MSP</i> d'analyse de la voix</p> <p>-Logiciel C++ de classification d'états du performer</p>	<p>-3 conférences internationales : IPMU'06, NIME'06, SMC'06</p>	<p>-Appel à projets MSH Paris Nord</p>
<p><i>Phase 2</i></p> <p>Développement au sein de la création <i>Les petites absences</i></p> <p>IRCAM / Théâtre du Signe</p> <p>2006-2008</p>	<p>Alain Bonardi</p>	<p>-Pauline Birot, doctorante Université Paris-Est Marne-la-Vallée</p> <p>-Marco Bataille-Testu, metteur en scène</p> <p>-Stéphane Pelliccia, comédien et Léopold Frey, développeur Max/MSP (Comédie de Caen)</p>	<p>-Assistant virtuel de performer temps réel pour Max/MSP</p> <p>-LAB100, dispositif</p>	<p>-Présentation en juin 2008 au séminaire du laboratoire ARIAS organisé par Béatrice Picon-Vallin / Clarisse Bardiot</p> <p>-Publications à venir</p>	<p>-Subventions au Théâtre du Signe</p> <p>-Soumission d'un projet SHS à l'appel ANR 2008 « La création : acteurs, objets, contextes »</p> <p>-Accueil Alain Bonardi en délégation CNRS à l'IRCAM</p>
<p><i>Phase 3</i></p> <p>IRCAM / LIASD Université Paris 8</p> <p>2007-2008</p>	<p>Alain Bonardi</p>	<p>-Isis Truck et Nicolas Jouandeau, MCF Université Paris 8</p> <p>-Frédéric Bevilacqua et Norbert Schnell, IRCAM, équipe IMTR</p>	<p>-Version 1 de la bibliothèque Fuzzy Lib pour Max/MSP en télé-chargement libre sur le site de l'IRCAM</p>	<p>-Présentation lors de la manifestation « Ville européenne des sciences »</p> <p>-Publications à venir</p>	<p>-Accueil Alain Bonardi en délégation CNRS à l'IRCAM</p>
<p><i>Projet adjacent</i></p> <p>Projet REVIVISCENCE dans le cadre du projet européen CASPAR</p> <p>IRCAM</p> <p>2008</p>	<p>Alain Bonardi</p>	<p>- Francis Rousseaux, Jérôme Barthélemy, IRCAM, équipe SEL</p> <p>- Serge Lemouton, réalisateur en informatique musicale, IRCAM</p> <p>- Karin Weissenbrunner, étudiante M1 Technische Universität Berlin</p>	<p>- Suivi de la migration de la pièce pour alto, ensemble et électronique <i>Diadèmes</i> de M.A. Dalbavie et extraction d'un cadre possible pour d'autres pièces</p>	<p>- 1 Journal ACM</p> <p>- 2 conférences françaises</p>	<p>-Projet européen CASPAR</p>

Tableau 5. Tableau synoptique du projet Assistant virtuel

5.2.3. L'ÉVÉNEMENT ENTRE « FICTION » ET « FONCTION »

Il y a dans toute écriture artistique l'espoir que ce qui « fonctionne » sur le papier « fictionne » chez le lecteur, l'auditeur, l'interprète au sens large, c'est-à-dire suscite l'imaginaire, réveille l'appétit d'écriture et de réécriture. Lorsque nous employons le verbe « fonctionner », nous évoquons bien entendu des logiques et stratégies d'écriture, mais aussi la « fonctionnalisation » qu'opèrent les traitements électroniques dans des langages de flux comme *Max/MSP*.

A la charnière du « fonctionner » et du « fictionner », se situe l'événement, inséparable de l'intention, que ce soit celle du créateur, ou celle, élaborée par le spectateur au sens large. Il constitue l'un des fondements du principe fictionnel. Quel est son destin « fonctionnel » ? Comment pouvons-nous l'appréhender dans des situations interactives « orientées partitions » ou au contraire « orientées instruments », pour reprendre les deux paradigmes que nous avons exposés ? Comment penser l'événement ? Comment penser ce qui surgit ? C'est bien cette vieille question philosophique que taquinent nos dispositifs multimédia. Si nous considérons que les événements pré-existent à nos dispositifs, nous avons tendance à les formater pour les faire entrer dans des catégories pré-conçues. Et si nous ne les envisageons pas *a priori*, nous ne savons pas comment les saisir. Comment pouvons-nous frayer notre chemin, pris dans une telle dyade ?

Dans l'espace de la fiction, de la conscience humaine, définissons simplement l'événement comme modifiant notre interprétation des choses. Il est ce qui survient, qui façonne le temps, voire le force et le précipite.

Vu de la machine, de l'espace des fonctions et des machines de Turing, qu'en est-il ? La publicité pour certaines marques d'ordinateurs a parfois mis en avant tel ou tel système d'exploitation orienté « événements ». Mais peut-on parler d'événement au sens classique alors que le cycle d'horloge de la machine régit tout ? Dans un ordinateur, c'est d'une certaine manière le temps qui fait l'événement : ce dernier est guetté, attendu, dans les mailles serrées de la fréquence d'horloge du processeur ainsi que dans son expression selon une codification détaillée : il y aura ainsi des événements clavier, des événements souris, des événements CD-ROM, etc. Comme le souligne le compositeur Philippe Manoury⁸³ : « *Il existe une différence fondamentale entre le temps organisé par des machines et celui de l'être humain. Le temps produit par des machines est soumis à de multiples horloges qui le découpent en tranches suffisamment fines pour qu'il soit perçu comme un continuum, tout comme le cinéma nous donne une illusion de la continuité visuelle en déroulant vingt-quatre images fixes par seconde. Grâce à des procédés élaborés, on parvient parfois à faire intervenir des mécanismes de mémorisation et de prédiction qui rendent plus souple ce contrôle temporel. Mais, fondamentalement, le temps des machines est celui des*

⁸³ MANOURY, Philippe, *Considérations [toujours actuelles] sur l'état de la musique en temps réel*, Revue l'Étincelle, n° 3, Paris : Ircam – Centre Georges Pompidou, 2007, page 10.

horloges et le restera. Le temps psychologique humain, à la différence de celui des machines, est incapable d'une telle finesse dans le découpage temporel en unités si petites. Mais lorsqu'un musicien contrôle le temps, il le fait dans la continuité d'un geste ou d'une respiration. »

L'événement en machine est donc beaucoup plus un possible⁸⁴ qu'un événement au sens de la perception humaine : pour l'ordinateur, et pour reprendre les mots de Deleuze⁸⁵, il n'y a là rien d'autre qu'un possible qui se réalise, mais certainement pas de virtuel qui s'actualise. Mais cela ne signifie pas qu'il n'y aura pas d'événement pour l'utilisateur de l'ordinateur en question : un programme bien écrit et astucieusement interfacé saura « solliciter » l'utilisateur et d'une certaine manière déplacer son investissement d'esprit. L'événement pourra donc parfois émerger pour l'utilisateur.

Comment desserrer l'étai de la machine, encourager la possibilité donnée à l'événement-machine de modifier une interprétation de situation au niveau de l'utilisateur ? Il s'agit de susciter l'investissement d'esprit ; ce qui peut par exemple passer par le façonnage interactif de similarités, comme nous l'avons montré au chapitre 3 en associant l'homme et la machine dans des processus émergents ; ou encore constituer l'ordinateur comme un bon « miroir », d'une certaine manière refaire pointer l'événement vers l'utilisateur, dans une reconstruction inspirante (comme l'image du miroir, totalement artificielle et inaccessible à notre expérience corporelle). La technologie serait alors le lieu de décloisonnement de la singularité ; on la pense traditionnellement comme lieu de la construction abstraite *a priori*, donc en termes de fermeture. Mais cette fermeture ouvre selon nous sur des processus de singularisation. Ne s'agit-il pas là, somme toute, d'une situation assez classique ? Pourquoi répéter la musique, accumuler des séances de travail d'un spectacle⁸⁶, si ce n'est pour laisser émerger les singularités ?

5.2.4. « L'ASSISTANT-FAÇONNAGE » AU COEUR DU PROJET *LES PETITES ABSENCES*⁸⁷

Ces questions ont été au cœur du développement du premier volet de notre assistant virtuel, destiné à l'élaboration extensive, par le dialogue homme-machine, « d'atomes » de scénographie et de mise en scène. Nous le nommerons « assistant-façonnage » ; il s'agit à partir d'un grand nombre de données (descripteurs vidéo et audio du performer), de constituer des abstractions de manière automatique, mais également de manière interactive.

⁸⁴ BONARDI, Alain, ROUSSEAU, Francis, *A->B*, Neuvièmes Journées de Rochebrune, Rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels, Thème des journées 2000 : Représentations graphiques dans les systèmes naturels et artificiels, 30 janvier-4 février 2000, Rochebrune (France), actes du colloque, pages 41-53.

⁸⁵ DELEUZE, Gilles, *Différence et répétition*, Paris : Presses Universitaires de France, 1968, 358 pages.

⁸⁶ BANU, Georges (éditeur), *Les Répétitions – de Stanislavski à aujourd'hui*, Le Méjan : Actes Sud, 2005, 440 pages.

⁸⁷ *Les petites absences* est un projet de création théâtrale, musicale et technologique, dont la première est prévue le 16 décembre 2008, à la Comédie de Caen. Sa thématique est l'absence, comme présence qui devient obsédante. Le projet fait appel à un dispositif numérique appelé LAB100, qui gère des « traces » des absents et les confronte aux présents. Texte : Sylvie Robe ; mise en scène : Marco Bataille-Testu ; création images : Nicolas Girault ; chorégraphie : Lolita Espin Anadon ; création musicale : Alain Bonardi.

Les fonctionnalités principales concernant les matériaux dramaturgiques sont : l'acquisition, l'annotation, la classification, la sélection, la reconnaissance. Le système actuel comporte les composants suivants, tous développés avec *Max/MSP* :

- Un module d'acquisition vidéo et audio, calculant un ensemble de descripteurs. L'analyse de la vidéo est effectuée grâce aux objets de la librairie *Computer Vision*⁸⁸ (*cv.jit*) pour *Max/MSP*. Un double traitement, d'une part différentiel, d'autre part en suivi de couleur⁸⁹ est effectué en entrée, avec la possibilité de doser la part de chacun. Puis, un certain nombre de descripteurs instantanés sont calculés partir des *bounding boxes* délimitant les performers⁹⁰ : quantité de mouvement, surface de contraction, orientation, élongation, centre de gravité. Pour l'audio, à partir de l'objet *analyzer*⁹¹ de Tristan Jehan, nous obtenons un ensemble de descripteurs audio : hauteur, volume sonore, brillance, « noisiness » (niveau de bruit), durée entre deux attaques.
- Un module de calcul d'agrégateurs à partir des descripteurs ci-dessus. Ce sont des moyennes, écarts-types, minima et maxima, obtenus à partir des librairies *FTM* et *MnM*⁹². Ils sont calculés selon une périodicité variable, modulable par l'utilisateur (fixe, selon des seuils par rapport au volume sonore, ou globalement pour une séquence).

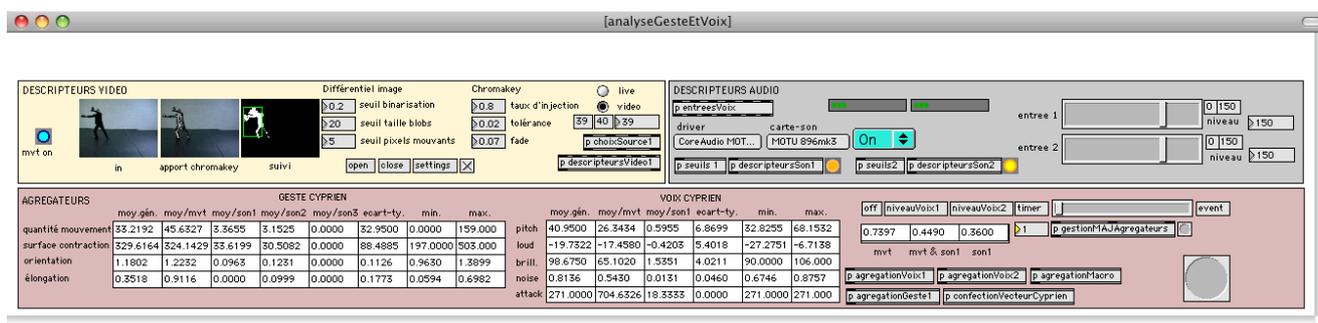


Figure 8. Copie d'écran des modules de calcul de descripteurs et des agrégateurs vidéo et audio rassemblés dans un même patch. Source : Alain Bonardi.

- Un module d'apprentissage non supervisé, correspondant à une carte de Kohonen, permettant la classification des vecteurs d'agrégateurs en classes d'état du

⁸⁸ <http://www.iamas.ac.jp/~jovan02/cv/download.html>

⁸⁹ Le metteur en scène Marco Bataille-Testu a suggéré cette possibilité pour suivre la couleur spécifique de tel ou tel élément de costume.

⁹⁰ La librairie *Computer Vision* pour *Max/MSP* ne résout pas pour autant les difficiles problèmes des intersections de *bounding boxes* et de suivi discriminatif lorsque les personnages se croisent sur scène.

⁹¹ <http://web.media.mit.edu/~tristan/maxmsp.html>

⁹² Téléchargeables sur le site de l'équipe IMTR : <http://imtr.ircam.fr>

performer. Ce module utilise l'objet *jit.robosom*⁹³ pour *Max/MSP*. En l'état actuel du système, 16 classes d'états du performer ont été distinguées.

- Un module de suivi et de réaligement temporel prenant en compte l'évolution de l'état du performer dans le temps. Il utilise les patches du suiveur de geste *mnm.follower* développé par Frédéric Bevilacqua, fondé sur des modèles de Markov cachés (HMM) permettant un apprentissage rapide (en une seule passe) de « gestes dramaturgiques ».
- Un module de façonnage interactif de listes de séquences, permettant au concepteur de rassembler plusieurs séquences qui lui semblent « aller ensemble » et d'obtenir les descripteurs « principaux » qui caractérisent cette liste, par une analyse en composante principale.

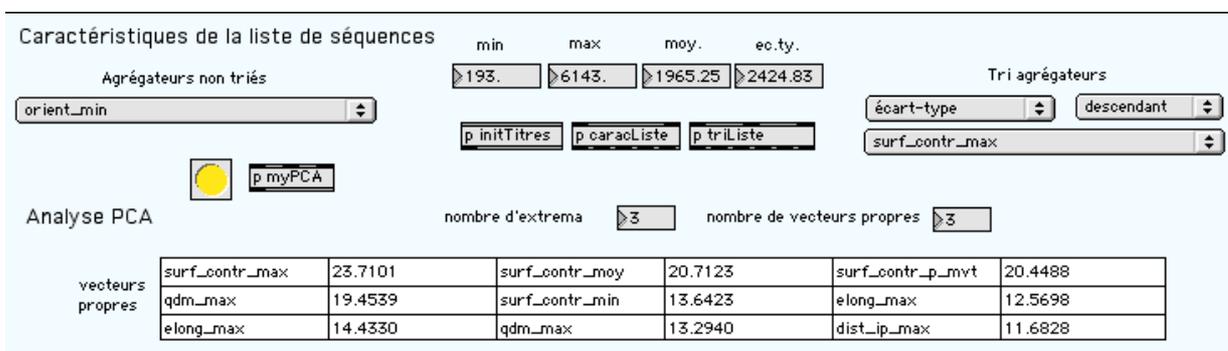


Figure 9. A partir d'un choix de séquences filmées établi par le metteur en scène, l'ordinateur propose les composantes principales et indique les descripteurs correspondants. Source : Alain Bonardi.

L'ensemble du dispositif est présenté sur le schéma synoptique ci-dessous.

⁹³ Objet *jit.robosom* pour *Max/MSP* développé par Robin Meier au CIRM à Nice, téléchargeable à l'URL : <http://www.neuromuse.org/downloads/index.html>

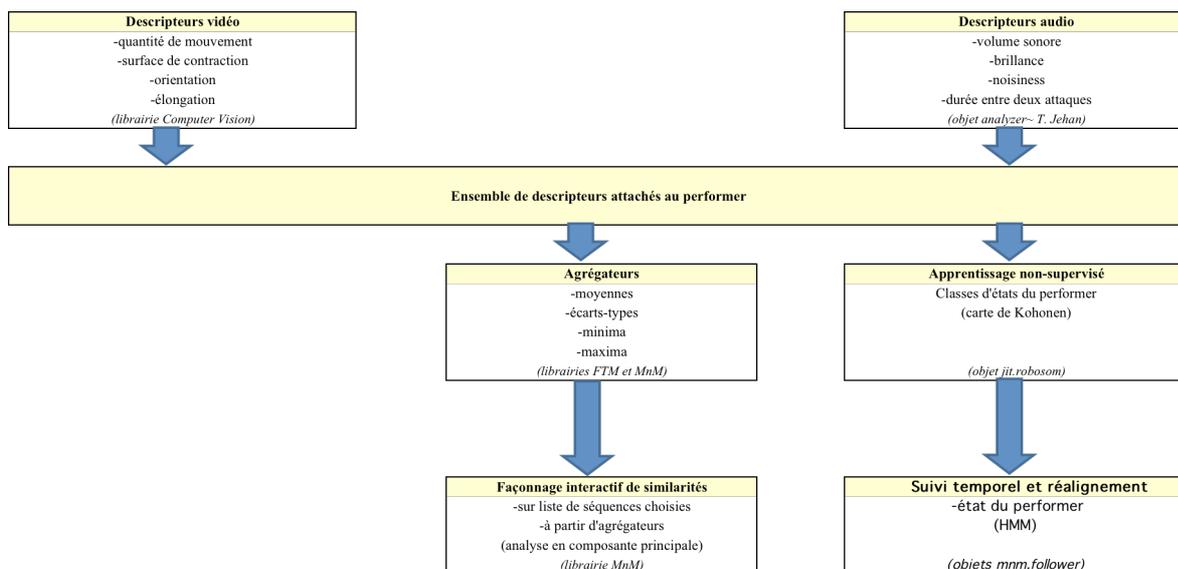


Figure 10. Schéma synoptique de « l'assistant-façonnage ». Source : Alain Bonardi.

Dans l'état actuel de cette partie du logiciel, il est utilisé par le metteur en scène Marco Bataille-Testu pour trois types d'annotations, correspondant à trois manières de se forger des idées de mise en scène :

- Exhiber d'un point de vue dramaturgique et nommer les classes d'états du performer définies par la carte de Kohonen.
- Repérer et mémoriser des moments dramaturgiques intéressants qui seront « appris » par le module de suivi et réalignement temporel, et par la suite reconnus.
- Constituer des familles de séquences de performances, selon un fonctionnement que l'on imagine en collection, pour reprendre la terminologie du chapitre précédent, à savoir passant des propositions de contiguïté (éprouvée) aux propositions de similarité (calculée).

5.2.5. « L'ASSISTANT-REGIE » ET LA « FUZZY LIB »

L'autre versant de l'assistant virtuel est la partie « assistant-régie » qui spécifie l'interaction homme-machine à mettre en œuvre, à savoir les relations entre entrées et sorties du système informatique développé. Nous sommes là dans un univers de fonctions, de calculabilité de cette interaction sur une machine de Turing. Les environnements utilisés supposent que l'événement soit considéré comme un possible, au sens où nous le décrivions dans un paragraphe précédent. Les utilisateurs l'appellent toujours « événement » comme le montre par exemple la terminologie des programmes « suiveurs

de partitions ». Mais il s'agit vraiment de possibles, traités comme tels, puisque la plupart des suiveurs ont une approche probabiliste. Remarquons que « l'événement » associe de manière intuitive des connaissances et représentations des musiciens humains et celles liées à la machine, à ses systèmes d'exploitation et programmes. Il constitue un bon exemple des Connaissances telles que les a introduites Newell⁹⁴ dans son hypothèse du « knowledge level ».

Mais comment prolonger la fiction dans le monde des fonctions ? Il s'agirait non pas de supprimer les fonctions, car toute machine de Turing en a besoin, mais bien des les alléger, et en tout cas de diminuer l'importance des « grilles » de possibles qui structurent par défaut toute réalisation interactive.

Nous avons pensé dans cette optique à utiliser la logique floue, et ce pour un ensemble de raisons :

- Le mapping entre entrées et sorties pourrait s'écrire sous forme de règles floues plutôt que se coder sous forme de fonctions.
- L'abandon des fonctions au profit d'une sémantique utilisateur (fuzzification et règles floues) favorise selon nous une plus grande autonomie des concepteurs non aguerris au développement *Max/MSP* et souvent bloqués par l'aspect fonctionnel implicite dans ce type d'environnement.
- La logique floue associe de manière intuitive perception et action dans le monde numérique, où les variations dans les espaces de valeurs de certains paramètres correspondent rarement au retour sensoriel que l'on en a. Un partitionnement astucieux⁹⁵ sur des variables linguistiques permet ainsi de nommer des espaces de valeurs en phase avec la perception.
- Enfin, la logique floue nous apporte une vision intéressante de la classification, qui pourrait contribuer à l'unification des deux parties de l'assistant : « façonnage » et « régie ». En effet, nous pouvons imaginer que des règles floues induites⁹⁶ à partir de sélections du metteur en scène ou concepteur, constituent la base de celles qui seraient utilisées pour la régie du spectacle.

⁹⁴ NEWELL, Allen, *The knowledge Level*, Artificial Intelligence. Vol. 18, pages 87-127, 1982.

⁹⁵ BONARDI, Alain, TRUCK, Isis, AKDAG, Herman, *Building Fuzzy Rules in an Emotion Detector*, 11th International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems (IPMU'2006), actes pages 540-547 (vol. 1), Paris, juillet 2006.

⁹⁶ GUILLAUME, Serge, *Induction de règles floues interprétables*, thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2001.

Nous avons tout d'abord constaté qu'aucune librairie de logique floue disponible en téléchargement sur Internet ne pouvait convenir à notre besoin « temps réel » tout en implémentant l'ensemble des implications floues, des t-normes et t-conormes de la littérature. Nous avons donc développé une librairie de logique floue appelée « Fuzzy Lib » pour l'environnement *Max/MSP*, en collaboration avec Isis Truck et Nicolas Jouandeau, maîtres de conférences à l'Université Paris 8, membres du Laboratoire d'Informatique Avancée de Saint-Denis (LIASD). Cette librairie possède les caractéristiques suivantes dans sa version 1 :

- Sont implémentés la fuzzification, le raisonnement incertain et la défuzzification pour un nombre quelconque de variables linguistiques.
- Dans la version 1, qui constitue une première étape, nous considérons seulement des mesures précises (venant de capteurs) pour optimiser les calculs (cela permet de simplifier le calcul du modus ponens généralisé qui est alors limité à l'implication floue). Toutefois, cette version permet d'utiliser tous les types d'implication floue, les t-normes et t-conormes habituelles. Dans la version 2, nous proposerons un modus ponens généralisé complet.
- Le fonctionnement temps-réel dans l'environnement *Max/MSP* est assuré par trois objets :
 - L'objet *LVI*, (pour *Linguistic Variable I*), qui permet de définir une variable linguistique et de manipuler plusieurs ensembles flous qui lui sont rattachés, et de « fuzzifier » les valeurs numériques de cette dernière.
 - L'objet *GMPAI* (pour *general modus ponens action I*) prend en compte des sous-ensembles flous et des variables linguistiques impliquées dans des raisonnements incertains (plusieurs *LV* en sortie peuvent être traitées par le même objet *GMPAI*), et de les traiter selon les valeurs transmises par les variables linguistiques considérées en entrée. Deux sortes de résultats sont délivrées : des valeurs numériques qui sont obtenues par défuzzification, et des sous-ensembles flous obtenus par les implications et pouvant être représentés graphiquement.
 - L'objet *ruleComposer*, dont la fonction est d'aider le concepteur à écrire les règles floues : il récupère l'ensemble des variables linguistiques liées à un objet *GMPAI*, ainsi que les noms des sous-ensembles flous associés, et « dirige » la saisie des règles floues, pour éviter les erreurs de syntaxe.

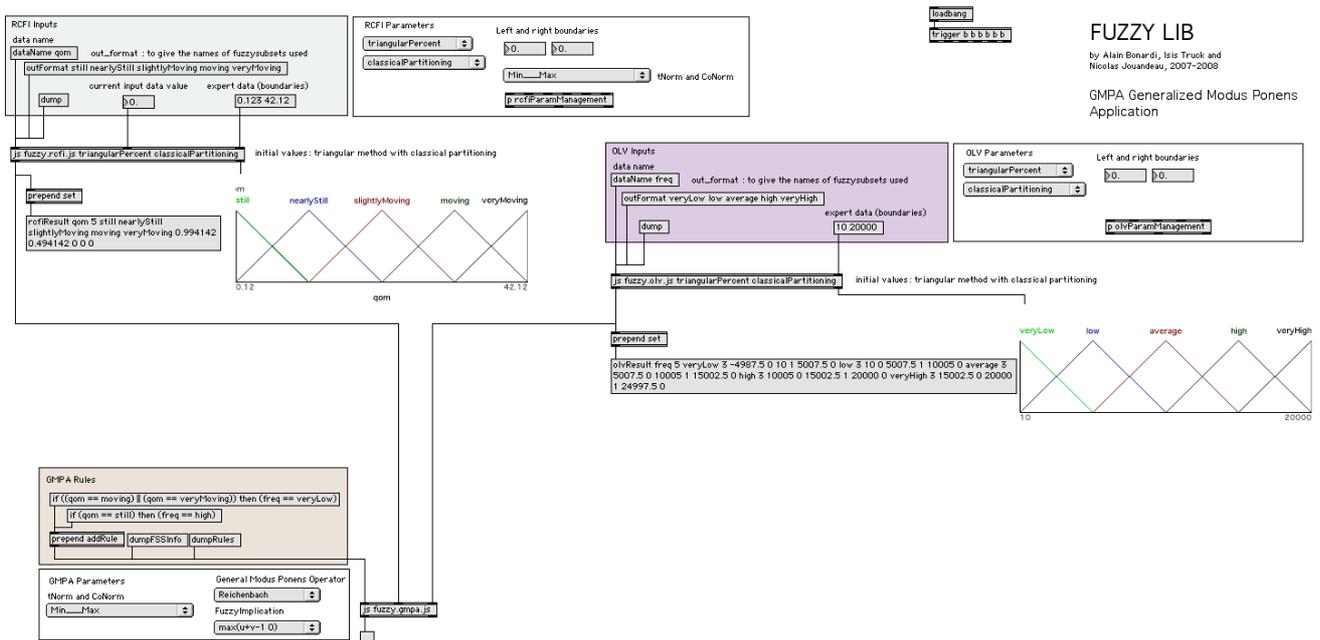


Figure 11. Exemple de patch montrant les objets LVI et GMPA1 en situation. Source : Alain Bonardi.

Dans le projet *Les petites absences*, une bonne partie de la régie « temps réel » est implémentée en utilisant des règles de logique floue, qui manipulent des variables linguistiques correspondant en sortie à des paramètres de modules interactifs. Elles ouvrent les patches vers le vocabulaire des artistes qui les utilisent.

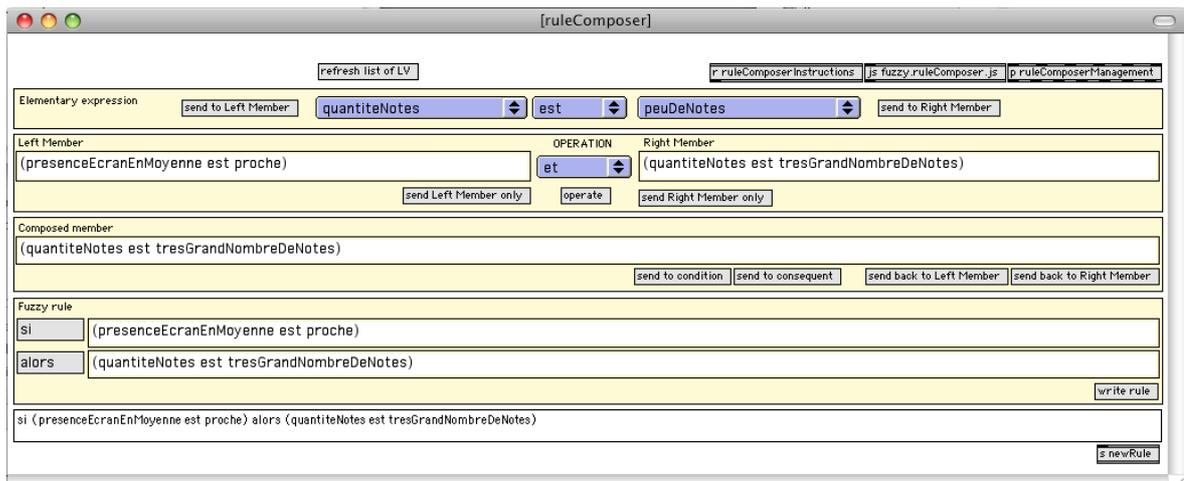


Figure 12. Copie d'écran de l'interface liée à l'objet ruleComposer. Source : Alain Bonardi.

5.2.6. RETOUR D'EXPERIENCE

Nous procédons actuellement à une évaluation complète de cette version de l'assistant virtuel de metteur en scène et performer dans le cadre de la création *Les petites absences*, qui aura lieu mi-décembre à la Comédie de Caen. D'emblée, nous constatons le rapport assez nouveau que cet EHMICS suscite entre concepteurs et ordinateurs. L'élément essentiel est l'introduction d'annotations et de notations, au sens large dans le patch, en utilisant un vocabulaire propre aux utilisateurs-artistes : dans « l'assistant-façonnage », annotation des états du performer, des gestes dramatiques « remarquables » ; dans « l'assistant-régie », notation du mapping grâce aux règles floues, notation des phénomènes perçus par le partitionnement des variables linguistiques.

Il reste beaucoup à expérimenter et à chercher ; d'abord viendra le bilan de l'expérience actuelle lorsque les représentations du spectacle suivront leur cours (décembre 2008-janvier 2009). Mais nous pouvons d'ores et déjà jeter un œil critique sur le travail accompli, et proposer des pistes d'approfondissement.

La première piste est la prolongation du travail sur la bibliothèque floue jusqu'à son terme, à savoir implémenter le modus ponens généralisé avec des mesures imprécises. Nous avons déjà consulté la littérature sur le sujet, notamment les articles de Martin-Clouaire⁹⁷ ou Dubois et Prade⁹⁸. Le sujet n'est pas mince, mais nous réfléchissons dès maintenant à des solutions alliant une complexité de calcul « raisonnable » à des optimisations par rapport à la topologie des sous-ensembles flous et des hypothèses simplificatrices.

Mais cette prolongation sur la logique floue n'est pas seulement dictée par l'état de l'art du domaine : elle émane d'un besoin réel, celui d'une double extension de ce formalisme. Tout d'abord, une extension temporelle, pour envisager une certaine profondeur de l'interaction, et pas seulement le mode « jeu humain » / « réponse de l'ordinateur » en général proposé. Il y a donc nécessité d'explorer l'association entre logique floue et systèmes dynamiques, très en vogue dans les processus de contrôle automatique de véhicules. Mais également, une extension en dimension, car nous nous rendons compte que de nombreux phénomènes rencontrés dans les interactions sont à comprendre vectoriellement : ces vecteurs peuvent avoir des tailles variables, et l'implémentation actuelle de la « Fuzzy Lib » manque de généralité. Nous en faisons actuellement

⁹⁷ MARTIN-CLOUAIRE, *Semantics and Computation of the Generalized Modus Ponens : The Long Paper*, International Journal of Approximate Reasoning 1989 ; 3 :195-217, New York : Elsevier Science Publishing, 1989.

⁹⁸ DUBOIS, Didier, MARTIN-CLOUAIRE, Roger, PRADE, Henri, Practical Computing in Fuzzy Logic. In *Fuzzy Computing-Theory, Hardware and Applications*, M.M. Gupta, and T. Yamakawa (éditeurs), Amsterdam, North-Holland, 1988, pp. 11-34.

l'expérience, en tentant d'introduire la logique floue dans la décision rendue par l'outil de suivi et de reconnaissance du geste proposé par Frédéric Bevilacqua⁹⁹ à l'IRCAM.

Du point de vue fonctionnel, les couplages entre les différents modules de cet assistant ne sont pas encore assez forts. Par exemple, au sein de « l'assistant-façonnage », les modules d'élaboration de listes de séquences et de suivi temporel de séquences choisies devraient échanger des données, concernant les descripteurs et agrégateurs mis en jeu. De plus, comme nous l'avons dit, la logique floue pourrait contribuer à l'unification des versants « façonnage » et « régie », en travaillant sur l'induction de règles floues.

Du point de vue utilisateur, le système n'a été expérimenté qu'avec un seul metteur en scène ; d'autres devront s'en saisir, mais également des scénographes, des concepteurs lumières, etc. Nous n'avons pas encore exploré la piste du training individuel du comédien avec ce type d'outil, mais elle nous paraît très importante. De même, pour l'accès du public à ces EHMIRCS, nous pouvons imaginer des outils pédagogiques, d'investigation et de « re-composition ».

Enfin, nous n'avons pas du tout abordé la préservation des intentions, problématique pourtant évoquée dans l'état de l'art de ce chapitre. Comment assurer au metteur en scène et concepteur d'éléments interactifs la capacité à se relire et à être lu ?

⁹⁹ BEVILACQUA, Frédéric, GUEDY, Fabrice, SCHNELL, Norbert, FLETY, Emmanuel, LEROY, Nicolas, *Wireless sensor interface and gesture-follower for music pedagogy*, Conférence Internationale New Interfaces for Music Expression (NIME07), actes pages 124-129, New York (USA), 7-9 juin 2007.

CONCLUSION

6. Conclusion sous forme de programme de recherche

6.1. Synthèse du rapport de recherche : trois problématiques centrales dans la médiation de l'activité scénique par les nouvelles technologies

Au cours de la partie précédente, nous avons présenté trois études de cas de médiations technologiques pour la création scénique. Chacune était adossée à une réalisation scénique précise, et esquissait à notre avis une thématique plus large :

- Dans le troisième chapitre, l'étude de cas autour de *La traversée de la nuit* montrait les premiers pas d'une démarche vers la constitution de la scène comme Environnement Virtuel Informé. Il convient maintenant d'aller plus loin et de commencer à modéliser la scène comme espace virtuel d'apprentissage et de représentation.
- Dans le quatrième chapitre, l'étude de cas autour d'*Alma Sola* montrait toute l'importance du paradigme cognitif des collections, d'abord envisagées temporellement, associées au « music-ripping », puis spatialement avec Piaget. Il reste à unifier ces deux approches. Mais le jeu en vaut la chandelle : nous avons ressenti la nécessité d'une approche en collection des contenus numériques dans l'ensemble de notre recherche.
- Dans le cinquième chapitre, l'étude autour des *Petites absences* suggérait l'importance de la reformulation d'intentions au cœur des processus de conception d'un spectacle interactif, avec notamment l'utilisation de la logique floue pour permettre l'insertion du vocabulaire des utilisateurs et sa manipulation. Nous devons aller plus loin dans la prise en compte du cycle complet des intentions du créateur, et son rapport à l'expérience effective de scène. Le metteur en scène

Marco Bataille-Testu se demandait dans ses notes personnelles de janvier 2008 : « comment le vivant va-t-il contaminer le système ? ».

Nous avons ainsi tiré trois lignes de problématiques riches, que nous comptons prolonger dans le cadre de notre future recherche.

6.2. Trois combinaisons d'utilisateurs et de lieux de créativité à explorer

Nous avons distingué dans notre introduction trois catégories d'utilisateurs : les artistes concepteurs, les artistes performers en situation scénique, et le public. Nous avons surtout insisté sur des médiations technologiques à l'attention du premier groupe, mais les deux autres sont évidemment tout aussi dignes d'intérêt. Nous pensons donc pour l'avenir nous intéresser à l'ensemble de ces groupes dans le cadre de notre problématique.

Chacun groupe est associé à un ou plusieurs espaces dans lesquels les utilisateurs opèrent des manipulations créatives de contenus. Une compréhension située de ces modes d'interaction nous semble être une piste de travail tout à fait intéressante :

- Pendant les répétitions, les artistes concepteurs circulent entre deux lieux : ils ne cessent de passer de la table à la scène. Le carnet de notes présente l'avantage de pouvoir être transporté avec soi dans ce mouvement de va-et-vient et de ne pas interrompre le processus d'élaboration, tout particulièrement le dialogue avec les performers. En revanche, l'ordinateur, placé sur la table de travail au niveau des fauteuils de salle, immobilise le concepteur, et requiert toute son attention, lui faisant perdre le fil de l'échange, du dialogue. Or la scène est souvent, dans ces productions, équipée en moyens de projection visuelle et sonore, qui sont essentiellement utilisés pour la régie et très rarement comme supports de conception d'un spectacle. On continue à placer sur scène des traits à la craie, ou encore des morceaux de scotch coloré pour se repérer. Ne peut-on pas imaginer d'étendre l'introduction des nouvelles technologies dans la conception de spectacles à une écriture en situation, utilisant pleinement tous les moyens disponibles ? A quelles fonctionnalités et quelles interfaces pouvons-nous penser ? Nous imaginons alors un Environnement Virtuel Informé pour concepteur, qui intègre un certain nombre de technologies dans son double espace de travail : à la table, et sur scène.

- Pour les artistes performers qui jouent sur scène, l'espace auquel nous pensons immédiatement est évidemment le plateau. Mais l'évolution sociale qui accompagne l'évolution technologique montre une individuation marquée des pratiques, et un certain nombre d'activités autrefois collectives sont désormais réalisées à domicile. La résidence du comédien, du musicien ou du danseur n'est

pas seulement le lieu de sa pratique quotidienne, de son apprentissage privé. Elle pourrait devenir un espace de training assisté par ordinateur, généralisant la fonction du miroir, bien connue des danseurs. A savoir, provoquer une altérité par un artefact : le miroir nous donne une image impossible de nous-mêmes, qui nous interroge et nous fait réagir. Nous trouvons particulièrement riche cette thématique, en la transposant dans le monde numérique : quels seraient les doubles, les avatars au sens large qui pourraient nous provoquer, et quelles situations d'interaction pourrions-nous imaginer avec eux ? Nous aurions à penser un Environnement Virtuel Informé bi-polaire pour les performers, entre le plateau et le lieu d'apprentissage.

- Enfin, pour les spectateurs, la situation est encore plus complexe, puisque les possibilités de « lieux » de spectacle se multiplient, allant de la salle de concert jusqu'au baladeur, en passant par le domicile, les espaces collectifs non exclusivement scéniques comme les musées par exemple, voire même les façades d'immeubles. Le spectacle numérique est partout, et ses interfaces désormais innombrables. Nous nous intéressons à la situation du spectateur « actif », ce qui limite tout de même le champ des possibles. Ce spectateur actif procède à une forme de recréation de contenus artistiques par la médiation de machines. Nous pensons nous intéresser à deux « lieux » particuliers : les salles de spectacles ouvertes à cette médiatisation de la recréation, et les dispositifs portables (téléphone, baladeur, etc.) la permettant. Chaque situation est en soi un projet de recherche, et requiert la mise au point d'imaginatifs Environnements Virtuels Informés.

6.3. Proposition d'un programme de recherche

A la croisée des trois lignes ouvertes dans le présent mémoire et des modélisations des trois situations d'utilisateurs que nous venons de décrire, peut s'écrire à notre sens un vaste et passionnant programme de recherches. Il se compose de plusieurs sous-projets, dont nous donnons ci-dessous une première idée :

- Trois sous-projets transversaux, dont les contenus seraient utiles à l'ensemble du programme :
 - o Un sous-projet « Collections pour les arts de la scène »
 - o Un sous-projet « Logique floue pour les arts de la scène »
 - o Un sous-projet « Préservation de l'intention dramaturgique »

- Trois sous-projets ciblés par groupe d'utilisateur et « lieu » d'interaction :
 - Un sous-projet « Environnements de prescription pour les concepteurs d'œuvres scéniques interactives »
 - Un sous-projet « Environnements numériques de pratique scénique pour les performers »
 - Un sous-projet « Environnements de récréation scénique pour les spectateurs »

Pour chaque sous-projet, nous donnons ses objectifs principaux et des partenaires possibles.

6.3.1. SOUS-PROJET COLLECTIONS POUR LES ARTS DE LA SCENE

Objectifs principaux

- Unifier la compréhension et la modélisation des collections temporelles et de collections spatiales. Une piste de travail est la définition de primitives d'une algèbre sur les entités de collections.
- Proposer les principes d'un « moteur » minimal générique de collections numériques permettant le plus grand nombre d'applications spécifiques. Les composants élémentaires seraient certainement :
 - un module de description des entités collectionnées,
 - un module de description de l'environnement de constitution/manipulation de la collection : interfaces homme-machine, représentation des entités de la collection, modes de manipulation, carte de la collection, réserve.
 - un module de similarité ouvert à différentes techniques de classification automatique présentées sous forme de « plugins » (logique floue, multi-classifieurs, etc.),
 - un module de contiguïté ouvert à différentes techniques d'induction automatique présentées sous forme de « plugins » (analyse en composante principale, induction de règles floues, etc.),

- un module d'organisation temporelle, ouvert à différentes techniques présentées sous forme de « plugins » (modèles de Markov cachés, etc.),
- un module-maître arbitrant à tout instant entre similarité, contiguïté et organisation temporelle, lié à un module général de parcours/visite de l'exposition générée permettant également sa manipulation en situation.

Partenaires possibles : Université de Reims Champagne-Ardenne, IRCAM, INRIA.

6.3.2. SOUS-PROJET LOGIQUE FLOUE POUR LES ARTS DE LA SCENE

Objectifs principaux

- Proposer une librairie de logique floue complète pour le temps réel (environnement Max/MSP), implémentant :
 - un modus ponens généralisé prenant en compte des mesures imprécises,
 - un ensemble de techniques d'induction de règles floues à partir de corpus de données,
 - un ensemble de techniques de classification floue,
 - une extension temporelle avec la possibilité de « coder » simplement des systèmes dynamiques,
 - une extension vectorielle avec la possibilité de « coder » des règles floues opérant globalement et dynamiquement sur des vecteurs de données de taille variable.
- Etudier l'application de cette librairie à des contextes de suivi et de reconnaissance temps réel, notamment dans la décision de choix lors de reconnaissances par rapport à un ensemble de formes apprises :
 - Suivi de geste : intégration avec les outils de suivi du geste de Frédéric Bevilacqua à l'IRCAM,
 - Suivi polyphonique de hauteurs musicales : expérimentations à tenter pour modéliser l'imprécision de ce type de processus.

- Etudier l'application de cette librairie à une conception de l'interaction ayant plus de « profondeur » temporelle que le mode habituel : « jeu » de l'artiste humain au moment n / réponse de la machine au moment $(n+1)$. En effet, la proposition du performer au moment n a certainement une relation avec la réponse de la machine au moment $(n-1)$. Cette corrélation est rarement prise en compte.

Partenaires possibles : Université Paris 8, Université de Reims Champagne-Ardenne, Université Paris 6, IRCAM.

6.3.3. *SOUS-PROJET PRESERVATION DE L'INTENTION DRAMATURGIQUE*

Objectifs principaux

Proposer une modélisation du cycle de vie de l'intention dramaturgique, ainsi qu'un ensemble d'outils de préservation/recyclage s'inscrivant dans les processus de conception et de réalisation scénique. Ce sous-projet est lié aux deux précédents, car il en utilise certains résultats :

- le principe de la collection de « traces » dramaturgiques numérisées,
- le principe d'une certaine « fictionnalisation » de l'espace des fonctions des environnements temps réel, la logique floue fournissant une première approche possible (d'autres seront envisagées).

Seront produits un certain nombre d'outils permettant la réutilisation de documents liés à des travaux dramaturgiques antérieurs, jusqu'à l'actualisation de modules interactifs.

De plus, ce sous-projet devra se rapprocher des résultats de projets de préservation comme CASPAR (projet européen) ou de trans-codage comme ASTREE (projet ANR de l'appel « Contenus – interactions »).

Partenaires possibles : IRCAM, Laboratoire ARIAS / CNRS, Laboratoire LASLAR de l'Université de Caen, Université de Reims Champagne-Ardenne, Université Paris 8.

6.3.4. SOUS-PROJET ENVIRONNEMENTS DE PRESCRIPTION POUR LES CONCEPTEURS D'ŒUVRES SCENIQUES INTERACTIVES

Objectifs principaux

Il s'agit de modéliser l'environnement de prescription du concepteur d'œuvre interactif, entre les deux pôles que constituent la table et la scène. Plusieurs points seront étudiés :

- la recherche d'un modèle des processus du travail créatif du concepteur, qui permette des instanciations « continues » entre table et scène,
- la modélisation des échanges avec les autres intervenants du spectacle, les performers et pourquoi pas, les spectateurs,
- la définition d'interfaces opérantes s'appuyant sur les capacités techniques déjà présentes dans les espaces de travail du concepteur, notamment les moyens de projection visuelle et sonore du plateau.

Partenaires possibles : Laboratoire ARIAS / CNRS, CECN – Centre des écritures contemporaines et numériques à Mons, Théâtre du Signe, Université de Valenciennes, Université Paris 8.

6.3.5. SOUS-PROJET ENVIRONNEMENTS NUMERIQUES DE PRATIQUE SCENIQUE POUR LES PERFORMERS

Il s'agit de modéliser l'environnement de pratique scénique des performers, et ses deux pôles : le plateau (pour lequel nous pouvons reprendre des éléments de la modélisation précédente liée au concepteur) et les espaces de training ou miroirs numériques. Nous étudierons les points suivants :

- la recherche d'un modèle des processus d'annotation, d'évaluation et auto-évaluation qui traversent l'activité du performer, permettant des instanciations « continues » entre l'espace du plateau et les lieux de training individuel,
- la modélisation des échanges avec les autres groupes d'utilisateurs, concepteurs et spectateurs,
- la définition d'interfaces opérantes s'appuyant sur les capacités techniques déjà présentes dans les espaces de travail du performer.

Partenaires possibles : Laboratoire ARIAS / CNRS, CECN – Centre des écritures contemporaines et numériques à Mons, Théâtre du Signe, Université de Valenciennes, Université Paris 8.

6.3.6. SOUS-PROJET ENVIRONNEMENTS DE RECREATION SCENIQUE POUR LES SPECTATEURS

Objectifs principaux

Il s'agit de modéliser les environnements de récréation scénique des spectateurs. Nous nous intéresserons à deux « lieux » particuliers : les salles de spectacles ouvertes à la médiatisation de la récréation, et les dispositifs portables (téléphone, baladeur, etc.) supports de ce type d'activité.

- la recherche de modèles d'interaction avec des contenus artistiques, permettant de les ré-agencer sans faire intervenir les catégories de l'écriture des arts impliqués (musique, théâtre),
- la modélisation des échanges avec les autres groupes d'utilisateurs, concepteurs et performers,
- la définition d'interfaces opérantes s'appuyant sur les capacités techniques déjà présentes dans les appareils multimédia que possèdent les spectateurs : téléphone portable, baladeur audio-vidéo, par exemple.

Partenaires possibles : Laboratoire ARIAS / CNRS, CECN – Centre des écritures contemporaines et numériques à Mons, Théâtre du Signe, Université de Valenciennes, Université Paris 8.

Références bibliographiques

Articles

ALLOMBERT, Antoine, DESAINTE-CATHERINE, Myriam, ASSAYAG, Gérard, *De Boxes à IScore : vers une écriture de l'interaction*, 13^e Journées d'Informatique Musicale, actes pages 79-86, Albi, 27-29 mars 2008.

BERIO, Luciano, ECO, Umberto, « Eco in ascolto- entretiens avec Luciano Berio », in *Les cahiers de l'IRCAM-Recherche et Musique n ° 6*, « Musique: Texte », Paris : Ircam, 1995.

BEVILACQUA, Frédéric, GUEDY, Fabrice, SCHNELL, Norbert, FLETY, Emmanuel, LEROY, Nicolas, *Wireless sensor interface and gesture-follower for music pedagogy*, Conférence Internationale New Interfaces for Music Expression (NIME07), actes pages 124-129, New York (USA), 7-9 juin 2007.

BOUCHARA, Tifanie, *Le « Scene-Modeler » : des outils pour la modélisation de contenus multimédias interactifs spatialisés*, 13^e Journées d'Informatique Musicale, actes pages 8-13, Albi, 27-29 mars 2008.

BOUCHEZ, Pascal, LELEU-MERVIEL, Sylvie, La simulation de représentation – Dispositif de co-production sémantique pour l'écriture de traces audiovisuelles respectueuses du fait théâtral, in *Hypertextes-Hypermédias H2PTM'01*, actes de la conférence H2PTM'01, octobre 2001, Valenciennes, Paris : Hermes Science Publications, 2001, 416 pages.

CAMURRI, Antonio, CATORCINI, A., INNOCENTI, C., MASSARI, A., *Music and multimedia knowledge and reasoning: the harp system*, Computer Music Journal, 19(2):34-58.

CAVAZZA, Marc, CHARLES, Fred, MEAD, Steven J., *Character-Based Interactive Storytelling*, IEEE Intelligent Systems, Volume 17, Issue 4, juillet 2002, pages 17-24.

CONT, Arshia, *Antescofo : Anticipatory Synchronization and Control of Interactive Parameters in Computer Music*, actes de l'International Computer Music Conference 2008, Belfast, 2008.

COHEN-LEVINAS, Danielle, « Devant la loi : écriture dramatique et dramaturgie musicale », in *Les cahiers de philosophie, n°20*, « La loi musicale », pages 185-207.

DANNENBERG, Roger D., *Interactive Visual Music: a personal perspective*, Computer Music Journal, 29(4) :25-35.

DELERUE, Olivier, DONIKIAN, Stéphane, CLENET, Gildas, *Creating Interactive Poly-Artistic Works: The ConceptMove Project*, International Conference on Virtual Storytelling (ICVS 2007), 5-7 décembre 2007, Saint-Malo (France), actes du colloque, pages 214-218.

DESAINTE-CATHERINE, Myriam, ALLOMBERT, Antoine, *Interactive scores : a model for specifying temporal relations between interactive and static events*, Journal of New Music Research, Vol. 34, N ° 4, 2005.

DE SOUSA DIAS, Antonio, *Installason : un éditeur et gestionnaire d'espaces musicaux navigables*, 13^e Journées d'Informatique Musicale, actes pages 14-22, Albi, 27-29 mars 2008.

DUBOIS, Didier, MARTIN-CLOUAIRE, Roger, PRADE, Henri, Practical Computing in Fuzzy Logic. In *Fuzzy Computing-Theory, Hardware and Applications*, M.M. Gupta, and T. Yamakawa (éditeurs), Amsterdam, North-Holland, 1988, pp. 11-34.

DUBOIS, Didier, PRADE, Henri, SMETS, Philippe, *A definition of subjective possibility*, International Journal of Approximate Reasoning, 48 (2008) 352-364.

DUFOURT, Hugues, *About Musical creativity*, Lecture of the European Society for the Cognitive Sciences of Music, Liège, 5-8 avril 2002.

FINGERHUT, Michael, *The IRCAM Multimedia Library: a Digital Music Library*, IEEE Forum on Research and Technology Advances in Digital Libraries (IEEE ADL'99), Baltimore, MD (USA), 19-21 mai 1999.

FRIBERG, Anders, *A Fuzzy Analyzer of Emotional Expression in Music Performance and Body Motion*, in Proceedings of Music and Music Science, Stockholm, 2004.

HARVEY, Jonathan, The metaphysics of live electronics, *Contemporary Music Review*, 18(3):79-82, 1999.

JACQUEMIN, Christian, *Architecture and Experiments in Networked 3D Audio/Graphic Rendering with Virtual Choreographer*, actes de la Conférence Internationale Sound & Music Computing (SMC'04), Paris, 20-22 octobre 2004.

JOAB, Michelle, GUERAUD, Viviane, AUZENDE, Odette, Les simulations pour la formation. In *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain*, Monique Grandbastien et Jean-Marc Labat (éditeurs), Paris : Hermès, 2006, pages 287-310.

LEMOUTON, Serge, Du rôle des techniques audionumériques dans un opéra du vingt-et-unième siècle. In BONARDI, Alain (éditeur), *Art lyrique et art numérique. A propos d'une scénographie virtuelle interactive de Norma de Bellini*, Paris, Université de Paris-Sorbonne, Observatoire Musical Français, série « Conférences et Séminaires », n° 13, 2002, pages 23 à 32.

LERDAHL, Fred, JACKENDORFF, Ray, *A generative theory of tonal music*, Cambridge : The MIT Press, 1983.

MANOURY, Philippe, *Considérations [toujours actuelles] sur l'état de la musique en temps réel*, Revue l'Étincelle, Perspectives, Paris : Ircam – Centre Georges Pompidou, 2007.

MANOURY, Philippe, BATTIER, Marc, « Les Partitions virtuelles ». In *Documentation Ircam*, Paris 1987.

MARTIN-CLOUAIRE, *Semantics and Computation of the Generalized Modus Ponens : The Long Paper*, International Journal of Approximate Reasoning 1989 ; 3 :195-217, New York : Elsevier Science Publishing, 1989.

NEWELL, Allen, *The knowledge Level*, Artificial Intelligence. Vol. 18, pages 87-127, 1982.

PACHET, François, Les nouveaux enjeux de la réification. In *L'Objet*, 10(4), 2004.

PACHET, François, Noms de fichiers : le Nom. In *Revue du groupe de travail STP (Sujet, Théorie et Praxis)*, Maison des Sciences de l'Homme Paris, EHESS, 2003.

PACHET, F., AUCOUTURIER, J.-J., LA BURTHE, A., ZILS, A. and BEURIVE, A. The Cuidado Music Browser : an end-to-end Electronic Music Distribution System. In *Multimedia Tools and Applications*, 2006. Special Issue on the CBMI03 Conference.

ORLAREY, Yann, FOBER, Dominique, LETZ, Stéphane, An algebraic approach to block diagram constructions, actes des Journées d'Informatique Musicale 2002 (JIM 2002), Marseille : GMEM, 2002.

PERROT, Jean-François, *Des objets aux connaissances*, Journée Méthodes objets et Intelligence Artificielle : Frontières, Ponts et Synergies, Paris RIA, 1994.

RAMMERT, Werner, Relations that Constitute Technology and Media that Make Differences. In *Advances in the Philosophy of Technology*, Agazzi/Lenk (éditeurs), Newark, Delaware: Society for Philosophy and Technology, 1999, pages 281-302.

RANWEZ, Sylvie, CRAMPES, Michel, *Conceptual Documents and Hypertext Documents are two Different Forms of Virtual Document*, Proceedings of the Workshop on Virtual Documents, Hypertext Functionality and the Web, Eight International World Wide Web Conference, 1999, Toronto (Canada), publiés par Maria Mlosavljevic, Fabio Vitali, Carolyn Watters au Département d'Informatique de l'Université de Bologne (Italie), Technical Report UBLCS-99-10, pages 21-27.

REANEY, Mark, *Virtual characters in theatre production : actors and avatars*, actes de la conférence Laval Virtual 2001, Laval, 2001.

- RINK, John, *The Practice of Performance: Studies in Musical Interpretation*, Cambridge, Cambridge University Press, 2002.
- RISSET, Jean-Claude, Composing in real-time, *Contemporary Music Review*, 18(3):31-39, 1999.
- ROUSSEAUX, Francis, *La collection, un lieu privilégié pour penser ensemble singularité et synthèse*, revue en ligne EspacesTemps, 2006, accessible à l'URL : <http://www.espacestems.net/document1836.html>.
- ROWE, Robert, The aesthetics of interactive music systems. In *Contemporary Music Review*, 18(3):83-87, 1999.
- SCHILLER, Gretchen, Body Screenographies, Jumping back to Leap forward, in *Body Space Journal*, Université de Brunel, Londres, Angleterre, éditeur : Dr. Susan Broadhurst, juillet 2005.
- SERRURIER, Mathieu, DUBOIS, Didier, PRADE, Henri, *Learning fuzzy rules with their implication operators*, Data & Knowledge Engineering 60 (2007) 71-89.
- STROPPIA, Marco, *Live electronics or live music ? towards a critique of interaction*, Contemporary Music Review, 18(3):41-77, 1999.
- THOMAS, Romain, DONIKIAN, Stéphane, *A Spatial Cognitive Map and a Human-Like Memory Model Dedicated to Pedestrian Navigation in Virtual Urban Environments*, Conférence Internationale Spatial Cognition 2006, 24-28 septembre 2006, Brême (Allemagne), actes de la conférence, pages 421-438.
- TURING, Alan, *Computing Machinery and Intelligence*, Mind LIX, n°236, 1950 ; réédité dans les Collected Works of A-M. Turing, vol 3. "Mechanical Intelligence"; traduction française dans A-M. Turing, J.-Y. Girard, *La machine de Turing*, Paris : Seuil, 1995.
- TURING, Alan, *Systems of Logic based on Ordinals*, Proceedings of the London Mathematical Society n°45, 1939.
- ZADEH, Lofti A., *Toward a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic*, Fuzzy Sets and Systems 90 (1997) 111-127.

Livres

- BABLET, Denis (sous la direction de), *L'œuvre d'art totale*, Paris, CNRS-Éditions, 1995.
- BADIOU, Alain, *Le siècle*, Paris : Seuil, 2005, 255 pages.
- BANU, Georges (éditeur), *Les Répétitions – de Stanislavski à aujourd'hui*, Le Méjan : Actes Sud, 2005, 440 pages.
- BAUDRILLARD, Jean, *Le Système des objets*, Paris : Gallimard, 1988, 275 pages.
- BENJAMIN, Walter, *Paris, capitale du XIX^e siècle – le livre des passages*, Paris : Le Cerf, 1989, 967 pages.
- BERGSON, Henri, *La Pensée et le Mouvant*, Paris : Presses Universitaires de France, 1938, 291 pages.
- BERIO, Luciano, DALMONTE, Rossana, *Luciano Berio (entretiens)*, Paris : Éditions Jean-Claude Lattès, Collection Musiques et Musiciens, 1983, 187 pages.
- BOUCHON-MEUNIER, Bernadette, *La Logique floue et ses applications*, Paris : Addison-Wesley, 1995.
- BOUGNOUX, Daniel, *La crise de la représentation*, Paris : La Découverte, 2006, 183 pages.
- BROOK, Peter, *L'Espace vide*, Paris : Seuil, 1977, 167 pages.
- CHION, Michel, *Guide des objets sonores*, Paris : Buchet/Chastel, 1983.
- COUCHOT, Edmond, *La Technologie dans l'art*, Paris : Éditions Jacqueline Chambon, 2002.
- CUNNINGHAM, Merce, *Le danseur et la danse*, entretiens avec Jacqueline Lesschaeve, Paris : Belfond, 1980
- DELEUZE, Gilles, *Proust et les signes*, Paris : Presses Universitaires de France, 2003, 224 pages.
- DELEUZE, Gilles, *Différence et répétition*, Paris : Presses Universitaires de France, 1968, 358 pages.
- ECO, Umberto, *L'œuvre ouverte*, Milan, Bompiani, 1962, traduction française par Chantal Roux de Bézieux avec le concours d'André Boucourechliev, Paris : Éditions du Seuil (pour la traduction), 1965.

- FALGUIERES, Patricia, CRIQUI, Jean-Pierre, WAJCMAN, Gérard, *L'intime, le collectionneur derrière la porte*, co-édition La Maison Rouge (Paris) / Editions Fage (Lyon), 2004, 128 pages.
- FERBER, Jacques, *Les systèmes multi-agents*, Paris : InterEditions, 1995, 493 pages.
- FEYERABEND, Paul, *Une connaissance sans fondements*, Paris : Dianoïa, 1999.
- FINK, Eugen, *Le Jeu comme symbole du monde*, Paris : Les éditions de minuit, 1966.
- FOUCAULT, Michel, *Ceci n'est pas une pipe*, Paris : Fata Morgana, 1973.
- GOODY, Jacques, *The Interface between the Written and the Oral*, New York, Cambridge University Press, 1987.
- HUSSERL, Edmund, *Leçons pour une phénoménologie de la conscience intime du temps*, Paris : Presses Universitaires de France, 1964.
- JORION, Paul, *Principes des systèmes intelligents*, Paris : Masson, 1990, 188 pages.
- LEVI-STRAUSS, Claude, *Regarder, écouter, lire*, Paris : Plon, 1993, 188 pages.
- LYOTARD, Jean-François, *La Condition postmoderne*, Paris : Minuit, 1979, 128 pages.
- MARQUET, Jean-François, *Singularité et événement*, Grenoble : Jérôme Million, 1995, 248 pages.
- PIAGET, Jean, INHELDER, Barbet, *La psychologie de l'enfant*, Paris : Presses Universitaires de France, 1966.
- POIZAT, Michel, *L'Opéra ou le Cri de l'ange*, Paris : Editions A.M. Métailié, 1986.
- POLIERI, Jacques, *Scénographie : théâtre, cinéma, télévision*, Réédition revue et augmentée de Scénographie nouvelle (1963), 1990, Paris : Editions Jean-Michel Place.
- POMIAN, Krysztof, *Collectionneurs, amateurs et curieux*, Paris : Gallimard, 1987, 367 pages.
- RASTIER, François, *Sémantique pour l'analyse*, Paris : Masson, 1994.
- SEVE, Bernard, *L'altération musicale*, Paris : Seuil, 2002.
- SIMONDON, Gilbert, *Du mode d'existence des objets techniques*, Paris : Aubier, 1989.
- STAROBINSKI, Jean, *Les Enchanteresses*, Paris : Seuil, 2005, 271 pages.
- ROUSSEAU, Francis, *Singularités à l'œuvre*, Sampzon : Delatour, 2006, 2 volumes, 361 et 339 pages.
- SCHAEFFER, Pierre, *Traité des objets musicaux*, Paris : Seuil, 1966.
- SCHLOEZER (DE), Boris, *Introduction à Jean-Sébastien Bach*, Paris : Gallimard, 1947.
- SZENDY, Peter, *Ecoute, une histoire de nos oreilles*, Paris : Minuit, 2001.
- VON NEUMANN John, *Theory of Self-Reproducing Automata*, London and Urbana, University of Illinois Press ; traduction française : *Théorie générale et logique des automates*, Paris : Champ Vallon, 1996.
- WAJCMAN, Gérard, *Collection*, Paris : Nous, 1999, 110 pages.
- WEIZENBAUM, Joseph, *Raisonnement de l'homme, intelligence de la machine*, Paris : Editions de l'Informatique, 1975.

Thèses

- BOSSEUR, Jean-Yves, *Votre Faust, miroir critique*, thèse de troisième cycle, Université Paris 8, 1974.
- GUILLAUME, Serge, *Induction de règles floues interprétables*, thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2001.
- TRUCK, Isis, *Approches symbolique et floue des modificateurs linguistiques et leur lien avec l'agrégation – Application : le logiciel Flous*, thèse de doctorat, Université de Reims – Champagne Ardenne, 2002.
- ZEPPENFELD, Christine, *L'Acteur face aux technologies*, Mémoire de DEA, Université Paris 3, 2001.

Publications de l'auteur

LIVRE

BONARDI, Alain, Représentations opérationnelles, Sampzon : Editions Delatour France, 2008, 302 pages.

ARTICLES DANS DES REVUES ET CHAPITRES DE LIVRES AVEC COMITE DE LECTURE

BONARDI, Alain, BARTHELEMY, Jérôme, The preservation, emulation, migration, and virtualization of live electronics for performing arts: An overview of musical and technical issues. *ACM J. Comput. Cultur. Heritage* 1, 1, Article 6 (June 2008), 16 pages.

ROUSSEAUX, Francis, BONARDI, Alain, Similarité en intension vs en extension : à la croisée de l'informatique et du théâtre, in *Revue d'intelligence artificielle (RIA 05)*, Volume 19, N° 1-2/2005, Paris, Hermès-Lavoisier, pages 281-288.

BONARDI, Alain, ROUSSEAUX, Francis, Un exemple de médiation numérique opératique : l'opéra interactif sur CD-ROM Virtualis, in *Musiques, arts, technologies – pour une approche critique*, Paris, Editions L'Harmattan, collection Musique-Philosophie, 2004, pages 123-140.

ROUSSEAUX, Francis, BONARDI, Alain, « Music-ripping » : des pratiques qui provoquent la musicologie, in *Musicae Scientiae* numéro spécial 2003/2004, Musical Creativity, special 10th anniversary conference issue – Award papers.

BONARDI, Alain, ROUSSEAUX, Francis, *Composing an Interactive Virtual Opera: The Virtualis Project*, *Revue Leonardo*, Journal of the International Society for the Arts, Sciences and Technology, volume 35, numéro 3, pages 315-318, 2002.

BONARDI, Alain, ROUSSEAUX, Francis, How do interactive virtual operas shift relationships between music, text and image ?, in *Language, Vision and Music*, Paul Mc Kevitt, Sean O Nuallain, Conn Mulvihill (eds.), Amsterdam, John Benjamins Publishing Company, 2002, pages 285-294.

BONARDI, Alain, ROUSSEAUX, Francis, Interagir avec un contenu opératique : le projet d'opéra virtuel interactif Virtualis, In *RIHM (Revue d'Interaction Homme-Machine)*, numéro spécial « Interaction et Documents », Volume 2, n° 1, juin 2001.

ARTICLES DANS DES REVUES ET CHAPITRES DE LIVRES SANS COMITE DE LECTURE

BONARDI, Alain, ROUSSEAUX, Francis, Représentations opérationnelles, in *Revue Prétentaine*, n° 20/21, Montpellier, Université Paul Valéry - Montpellier III, mars 2007, pages 97-115.

SEDES, Anne, BONARDI, Alain, Espaces opératoires, espaces opératiques, in *Arts et mutations – Les nouvelles relations esthétiques*, Paris, Editions Klincksieck, novembre 2004, pages 223-238.

BONARDI, Alain, « Sur les conditions de possibilité des opéras numériques », in *Espaces sonores – Actes de recherches*, sous la direction d'Anne Sedes, Saint-Denis : Editions Musicales Transatlantiques, 2003, pages 117-123.

ROUSSEAUX, Francis, BONARDI, Alain, « Vagabonds, pédants ou philistins : choisir en beauté », in *Art lyrique et art numérique. A propos d'une scénographie virtuelle interactive de Norma de Bellini*, Paris, Université de Paris-Sorbonne, Observatoire Musical Français, série « Conférences et Séminaires », n° 13, 2002, pages 41-48.

CONFERENCES INTERNATIONALES AVEC COMITE DE LECTURE

BONARDI, Alain, ZEPPEFELD, Christine, *Human Actors and Virtual Agents Playing Together to Transform Stage Direction Practices*, 7th Conference on Intelligent Virtual Agents (IVA 2007), actes pages 358-359, Paris.

BONARDI, Alain, ROUSSEAU, Francis, *Building Live Opera Open Forms*. In: K. Maimets-Volt, R. Parncutt, M. Marin & J. Ross (Eds.) Proceedings of the third Conference on Interdisciplinary Musicology (CIM07), Tallinn, Estonia, 15-19 August 2007, <http://www-gewi.uni-graz.at/cim07/>

GUERCIO, Mariella, BARTHELEMY, Jérôme, BONARDI, Alain, *Authenticity Issue in Performing Arts using Live Electronics*, 4th Sound and Music Computing Conference (SMC 07), actes pages 226-229, Lefkada, Grèce, juillet 2007.

ROUSSEAU, Francis, BONARDI, Alain, *Is knowledge emerging in the secrecy of our musical collections ?*, 4th Sound and Music Computing Conference (SMC 07), actes pages 238-246, Lefkada, Grèce, juillet 2007.

BONARDI, Alain, BARTHELEMY, Jérôme, *Le patch comme document numérique : support de création et de constitution de connaissances pour les arts de la performance*, 10ème Colloque International sur le Document Electronique (CIDE 10), actes de la conférence pages 163-174, Nancy, juillet 2007.

ROUSSEAU, Francis, BONARDI, Alain, *Parcourir et constituer nos collections numériques*, 10ème Colloque International sur le Document Electronique (CIDE 10), actes de la conférence pages 133-142, Nancy, juillet 2007.

ROUSSEAU, Francis, BONARDI, Alain, *Tirer parti d'un principe d'indifférenciation au cœur des collections figurales pour améliorer les systèmes informatisés d'aide interactive à la navigation dans les contenus numériques*, 4th International Conference on Sciences of Electronics, Technologies of Information and Telecommunications (SETIT'07), Hammamet (Tunisie), mars 2007.

ROUSSEAU, Francis, Bonardi, Alain, *Involving Cognitive Science Views on Collections to Better Design our Content Management Tools*, 1st International Conference on Digital Communications and Computer Applications (DCCA'07), Amman (Jordanie), mars 2007.

ROUSSEAU, Francis, BONARDI, Alain, *Benefiting from Piaget to improve our collections browsing tools ?*, IADIS Applied Computing 2007 Conference, Salamanca (Espagne), février 2007.

BONARDI, Alain, TRUCK, Isis, AKDAG, Herman, *Building Fuzzy Rules in an Emotion Detector*, 11th International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems (IPMU'2006), actes pages 540-547 (vol. 1), Paris, juillet 2006.

BONARDI, Alain, TRUCK, Isis, AKDAG, Herman, *Towards a Virtual Assistant for Performers and Stage Directors*, Conférence Internationale New Interfaces for Musical Expression (NIME06), 4-8 juin 2006, Paris, actes du colloque, pages 326-329.

BONARDI, Alain, TRUCK, Isis, *First Steps towards a Digital Assistant for Performers and Stage Directors*, 3rd International Conference on Sound and Music Computing (SMC 06), actes pages 91-96, Marseille, mai 2006.

ROUSSEAU, Francis, BONARDI, Alain, *Reconcile Art and Culture on the Web*, Sixth International Conference on Electronique Commerce, actes pages 334-340, Delft (Pays-Bas), 24-27 octobre 2004.

ROUSSEAU, Francis, BONARDI, Alain, *A Style of Theater Production directly Inspired by Interactive Data Mining*, Workshop « Style and Meaning in Language, Art, Music and Design », Conférence Internationale AAI'04, actes pages 71-73, Washington (USA), 21-24 octobre 2004.

BONARDI, Alain, ROUSSEAU, Francis, *New Approaches of Theatre and Opera Directly Inspired by Interactive Data-Mining*, Conférence Internationale Sound & Music Computing (SMC'04), pages 1-4, Paris, 20-22 octobre 2004.

ROUSSEAU, Francis, BONARDI, Alain, *Une mise en scène directement inspirée de la fouille interactive de données*, publication n ° 0423, CD-ROM des actes de la conférence internationale ICHIM 04, Berlin, Haus der Kulturen der Welt, 31 août-2 septembre 2004.

ROUSSEAU, Francis, BONARDI, Alain, PONCELET, Renan, *Online Music Distribution : a Case Study*, International Workshop for Technologies, Economy, Social and Legal Aspects of Virtual Goods, Ilmenau (Allemagne), 27-29 mai 2004.

ROUSSEAU, Francis, BONARDI, Alain, AKDAG, Herman, *Vers une conciliation de l'art et de la culture à travers la Toile*, Conférence Internationale SETIT : Sciences Electroniques, Technologiques de l'Information et des Télécommunications, page 325 (7 pages sur CD), Sousse (Tunisie), 17-21 mars 2004.

ROUSSEAU, Francis, BONARDI, Alain, *New Tools and Practices for Electronic Music Distribution*, International Symposium on Information and Communication Technologies, Actes Trinity College Dublin, Ireland, 20-26 septembre 2003.

ROUSSEAU, Francis, BONARDI, Alain, *Comprendre des pratiques qui provoquent la musicologie : le « Music-Ripping »*, publication n ° 041C, CD-ROM des actes de la conférence internationale ICHIM 03, Paris, Ecole du Louvre, 10-12 septembre 2003.

BONARDI, Alain, *Gesture in digital operas: Reconciling representation with performance?*, Conférence internationale Music and Gesture, 28-31 août 2003, University of East Anglia, Norwich, Angleterre, résumé publié dans les pré-actes de la conférence page 20 (actes à venir).

BONARDI, Alain, ROUSSEAU, Francis, « *Music-Ripping* »: *Practices that Provoke Musicology*, Computer Music Modeling and Retrieval. In Nanard, M., Nanard, J., Betaille, H., Terrat, R. (Eds), LIRMM, Montpellier (France), 26-27 mai 2003

BONARDI, Alain, ROUSSEAU, Francis, *The Virtualis Project: Interacting with Operatic Contents*, Conférence EVA 2002 (Electronic Imaging and the Visual Arts), 18-22 mars 2002, Florence (Italie), Pitagora Editrice Bologna, pages 260-264.

BONARDI, Alain, *Acclimater Norma : une proposition de scénographie interactive à l'Île d'Yeu*, in Vincenzo Bellini et la France - Histoire, création et réception de l'œuvre, Actes du Colloque International Bellini sous la direction de Maria Rosa De Luca, Salvatore Enrico Failla, Giuseppe Montemagno, Lucca (Italie), Libreria Musicale Italiana, pages 811-819.

BARTHELEMY, Jérôme, BONARDI, Alain, *Figured Bass and Tonalties Recognition*, Conférence Music Information Retrieval 2001 (ISMIR 2001), Bloomington (Indiana, USA), 15-17 octobre 2001.

BARTHELEMY, Jérôme, BONARDI, Alain, *Similarity in computational music: a musicologist's approach*, Conférence WEDEL MUSIC, Université de Florence (Italie), 30 novembre-1er décembre 2001, actes du Colloque, pages 107-115

BONARDI, Alain, ROUSSEAU, Francis, *Creating "Hypermusic" Spaces*, Conférence RIAO 2000 (Recherche d'Information Assistée par Ordinateur 2000), Collège de France, Paris (France), 12-14 avril 2000, actes du colloque (édités par le C.I.D., Centre de Hautes Etudes Internationales d'Informatique Documentaire), volume II, pages 1280-1287.

BONARDI, Alain, ROUSSEAU, Francis, *Creating graphical metaphors of music with the Alma environment*, Septième Symposium Brésilien d'Informatique Musicale (SBCM 2000), 17-20 juillet 2000, Curitiba (Brésil), Actes du colloque sur CD-ROM uniquement.

BONARDI, Alain, *Skeches of an interactive staging of Norma by Bellini using computerized musical descriptions*, Dixième Symposium International des Arts Electroniques (ISEA 2000), 7-10 décembre 2000, Paris, Actes du Symposium, page 63.

BONARDI, Alain, ROUSSEAU, Francis, *Métaphores graphiques de la musique pour non-musiciens*, Deuxième Colloque International sur le Document Electronique : CIDE'99, Damas (Syrie), 5-7 juillet 1999, actes du colloque (édités par Europa Productions, Paris), pages 111-120.

BONARDI, Alain, Serra, M.-H., Fingerhut, M., *Documentation musicale et outils hypermédias*, Deuxième Colloque International sur le Document Electronique : CIDE'99, Damas (Syrie), 5-7 juillet 1999, actes du colloque (édités par Europa Productions, Paris), pages 295-309.

BONARDI, Alain, ROUSSEAU, Francis, *Composing Interactive Virtual Operas*, Troisième Conférence "Creativity and Cognition", Loughborough University (Angleterre), 10-13 octobre 1999, actes du colloque, pages 144-147.

BONARDI, Alain, ROUSSEAU, Francis, *Towards Digital "Music Actions"*, Vingt-cinquième International Computer Music Conference (ICMC 99), Pékin (Chine), 22-27 octobre 1999, actes du colloque, pages 116-119.

BONARDI, Alain, ROUSSEAU, Francis, *Towards New Lyrical Forms*, Séminaire "Emotional and Intelligent: The Tangled Knot of Cognition", American Association for Artificial Intelligence 1998 Fall Symposium, Orlando (Etats-Unis, Floride), 23-25 octobre 1998, Papers from the 1998 AAAI Fall Symposium - Technical Report FS-98-03, pages 25-28.

WORKSHOPS INTERNATIONAUX AVEC COMITE DE LECTURE

ROUSSEAU, Francis, BONARDI, Alain, *Reconcile Art and Culture on the Web: Lessen the Importance of Instanciation so Creation Can Better Fiction*, First Workshop on Philosophy and Informatics, page 97, 31 mars - 1er avril 2004.

BONARDI, Alain, ROUSSEAU, Francis, *How Do Interactive Virtual Operas Shift Relationships between Music, Text and Image?* The Eighth International Workshop on the Cognitive Science of Natural Language Processing (CSNLP-8) - Language, Vision & Music, Galway (Irlande), 9-11 août 1999, actes du colloque, pages 65-72.

BONARDI, Alain, ROUSSEAU, Francis, *Some issues about Emotion in Multimedia Musical Works*, Workshop W5 "Grounding Emotions in Adaptive Systems", The Fifth International Conference on Simulation of Adaptive Behaviour SAB'98, From Animals to Animats, Zürich (Suisse), 17-21 août 1998, actes SAB'98, page 78.

CONFERENCES FRANCAISES AVEC COMITE DE LECTURE

BONARDI, Alain, BARTHELEMY, Jérôme, CIAVARELLA, Raffaele, BOUTARD, Guillaume, *First Steps in Research and Development about the Sustainability of Software Modules for Performing Arts*, 13èmes Journées d'Informatique Musicale (JIM'08), Groupe de Musique Expérimentale d'Albi (France), 27-29 mars 2008, actes du colloque pages 105-110.

ROADLEY, Benjamin, ROUSSEAU, Francis, BONARDI, Alain, *ReCollection: a Disposal/Formal Requirement-Based Tool to Support Sustainable Collection Making in Musical Creation*, 13èmes Journées d'Informatique Musicale (JIM'08), Groupe de Musique Expérimentale d'Albi (France), 27-29 mars 2008, actes du colloque pages 54-63.

BONARDI, Alain, *De l'unité dans les œuvres scéniques interactives – Exemple de l'opéra interactif Alma Sola*, Conférence H2PTM'03 (Hypertextes, Hypermédias), Paris, 24-26 septembre 2003, actes du colloque, pages 293-297, Hermès, Paris, 2003.

BONARDI, Alain, ROUSSEAU, Francis, *Esquisse d'un opéra interactif : le projet Virtualis*, Conférence H2PTM'01 (Hypertextes, Hypermédias), Valenciennes (France), 18-20 octobre 2001, actes du colloque, pages 251-262, Hermès, Paris, 2001.

BONARDI, Alain, ROUSSEAU, Francis, *Virtualis, opéra interactif*, Journées d'Informatique Musicale 2001 (JIM 2001), Groupe de Musique Expérimentale de Bourges (France), 7-9 juin 2001, actes du colloque, pages 247-257.

BARTHELEMY, Jérôme, BONARDI, Alain, BEZZERA DE MENEZES, Carlos, *Outils d'analyse musicale et de recherche sur le contenu : une démarche musicologique*, Journées d'Informatique Musicale 2001 (JIM 2001), Groupe de Musique Expérimentale de Bourges (France), 7-9 juin 2001, actes du colloque, pages 153-164.

BONARDI, Alain, ROUSSEAU, Francis, *Virtualis, opéra interactif sur support informatique*, Journées internationales sur l'ingénierie de systèmes et les NTIC, session « Systèmes dynamiques de gestion de la connaissance et du multimédia », Nîmes, 13 septembre 2000, article disponible en ligne à l'adresse <http://www.lgi2p.ema.fr/~multimedia/nimestic/>

BONARDI, Alain, ROUSSEAU, Francis, *A->B*, Neuvièmes Journées de Rochebrune, Rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels, Thème des journées 2000 : Représentations graphiques dans les systèmes naturels et artificiels, 30 janvier - 4 février 2000, Rochebrune (France), actes du colloque, pages 41-53.

BONARDI, Alain, ROUSSEAU, Francis, *Alma, un environnement de « métaphorisation » de la musique*, Journées d'Informatique Musicale 2000 (JIM 2000), 15-18 mai 2000, Université Bordeaux I, Bordeaux (France), actes du colloque, pages 162-170.

BONARDI, Alain, ROUSSEAU, Francis, *Métaphores graphiques de la musique pour non-musiciens*, A. Bonardi et F. Rousseau, Troisième Colloque Jeunes Chercheurs en Sciences Cognitives, « Interdisciplinarité et cognition », Soulac (France), 26-28 avril 1999, actes du colloque, pages 39-45.

BONARDI, Alain, ROUSSEAU, Francis, *Quelques métaphores musicales de l'hypertexte*, Cinquième Conférence « Hypertextes, Hypermédias et Internet », Université de Paris VIII, Saint-Denis (France), 23-24 septembre 1999, actes du colloque édités par les Editions Hermès, Paris, pages 133-143.

BONARDI, Alain, ROUSSEAU, Francis, *Virtualiser l'opéra virtuel*, Journées ReViCo - Réalité Virtuelle et Cognition, Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications de Paris (France), 14-15 décembre 1999, actes du colloque, pages 21-31.

BONARDI, Alain, ROUSSEAU, Francis, *Premiers pas vers un opéra interactif*, Journées d'Informatique Musicale 1998, Agelonde (France), 4-7 mai 1998, Publication du Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique du CNRS n°148, pages A4-1 à A4.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION CONTEXTE, MOTIVATIONS, OBJECTIFS ET DISPOSITIFS DE RECHERCHE VISES.....	9
1. CONTEXTE GENERAL	11
1.1. <i>Les mutations de nos représentations</i>	11
1.1.1. Crises dans la « graphosphère »	11
1.1.2. La montée en puissance des représentations associées au multimédia	12
1.2. <i>L'émergence de l'informatique temps réel dans les arts de la scène</i>	14
1.2.1. La naissance de l'informatique musicale temps réel	14
1.2.2. L'arrivée à maturité des environnements temps réel	14
1.2.3. L'extension de ce paradigme à tous les arts de la scène	15
1.2.4. Les communautés d'utilisateurs	16
1.2.5. L'avenir de ces environnements logiciels	17
1.3. <i>Problématiques liées à notre recherche</i>	17
1.3.1. Problématiques artistiques	18
1.3.2. Problématiques socio-culturelles	18
1.3.3. Problématiques scientifiques	19
1.4. <i>Verrous à lever</i>	19
1.4.1. Verrous scientifiques	19
1.4.2. Verrous technologiques	20
1.4.3. Verrous socio-culturels	20
2. OBJECTIFS DE LA RECHERCHE ET DISPOSITIFS CREES	21
2.1. <i>Positionnement de la recherche</i>	21
2.2. <i>Objectifs de la recherche</i>	23
2.3. <i>Dispositifs et structures développés</i>	23
TROIS PROPOSITIONS D'EHRMICS MODIFIANT LES PRATIQUES SCENIQUES.....	27
3. UN ENVIRONNEMENT VIRTUEL INFORME POUR DE NOUVELLES MODALITES DE MISE EN SCENE	29
3.1. <i>Objectif : échapper à l'omnipotence des ontologies a priori dans la mise en scène</i>	29
3.1.1. Constat : réification dans la société, reification dans la mise en scène	29
3.1.2. Etat de l'art et propositions de médiations technologiques au service de modalités originales de mise en scène	31
3.2. <i>Réalisation : La Traversée de la nuit</i>	32
3.2.1. Intentions	32
3.2.2. Aspects organisationnels du projet	34
3.2.3. Conception homme-machine du spectacle	35
3.2.4. Implémentation du système informatique	35
3.3. <i>Bilan d'étape</i>	39
3.3.1. Vers des Environnements Virtuels Informés Scéniques	39
3.3.2. Pistes d'approfondissement	40
4. DU « MUSIC-RIPPING » AUX COLLECTIONS, DEUX PARADIGMES MULTIMEDIA OUVRANT A DE NOUVELLES CREATIONS ET MEDIATIONS	43
4.1. <i>Introduction : quelques considérations sur les paradigmes des représentations multimédia</i>	43
4.2. <i>Première réalisation: esquisses de « music-ripping » dans l'opéra Alma Sola</i>	44
4.2.1. Etat de l'art dans l'application du « music-ripping » aux arts de la scène	45
4.2.2. Intentions des concepteurs	45
4.2.3. Résumé du projet Alma Sola	48
4.2.4. Interactions homme-machine	48
4.2.5. Implémentation du système informatique	49
4.2.6. Retour d'expérience	49
4.3. <i>Vers des collections numériques figurales</i>	50
4.3.1. Les collections numériques, entre ordre et désordre	50
4.3.2. Les collections, entre classes et singularités	51
4.3.3. Comment les informaticiens traitent-ils les collections ?	52
4.4. <i>Deuxième réalisation : l'application ReCollection</i>	53
4.4.1. Etat de l'art dans le domaine des collections numériques	53
4.4.2. Résumé du projet ReCollection	54
4.4.3. La collection numérique de fragments d'opéra	54

4.4.4.	L'espace de la réserve.....	56
4.4.5.	L'espace de l'exposition.....	57
4.4.6.	Retour d'expérience.....	57
5.	RESSAISIR LES INTENTIONS LORS DE LA CONCEPTION DE SPECTACLES VIVANTS INTERACTIFS.....	59
5.1.	<i>Objectif : constituer des EHMRICS pour ressaisir les intentions.....</i>	59
5.1.1.	Constat : les plateformes actuelles « absorbent » les intentions de leurs utilisateurs.....	59
5.1.2.	Etat de l'art et propositions de prise en compte des intentions.....	60
5.2.	<i>Réalisation : Vers un assistant virtuel de metteur en scène et performer.....</i>	62
5.2.1.	Intentions du projet « Assistant virtuel ».....	62
5.2.2.	Aspects organisationnels du projet.....	63
5.2.3.	L'événement entre « fiction » et « fonction ».....	66
5.2.4.	« L'assistant-façonnage » au coeur du projet Les petites absences.....	67
5.2.5.	« L'assistant-régie » et la « Fuzzy Lib ».....	70
5.2.6.	Retour d'expérience.....	74
	CONCLUSION.....	77
6.	CONCLUSION SOUS FORME DE PROGRAMME DE RECHERCHE.....	79
6.1.	<i>Synthèse du rapport de recherche : trois problématiques centrales dans la médiation de l'activité scénique par les nouvelles technologies.....</i>	79
6.2.	<i>Trois combinaisons d'utilisateurs et de lieux de créativité à explorer.....</i>	80
6.3.	<i>Proposition d'un programme de recherche.....</i>	81
6.3.1.	Sous-projet Collections pour les arts de la scène.....	82
6.3.2.	Sous-projet Logique floue pour les arts de la scène.....	83
6.3.3.	Sous-projet Préservation de l'intention dramaturgique.....	84
6.3.4.	Sous-projet Environnements de prescription pour les concepteurs d'œuvres scéniques interactives.....	85
6.3.5.	Sous-projet Environnements numériques de pratique scénique pour les performers.....	85
6.3.6.	Sous-projet Environnements de récréation scénique pour les spectateurs.....	86
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	87
	<i>Articles.....</i>	87
	<i>Livres.....</i>	89
	<i>Thèses.....</i>	90
	<i>Publications de l'auteur.....</i>	91
	Livre.....	91
	Articles dans des revues et chapitres de livres avec comité de lecture.....	91
	Articles dans des revues et chapitres de livres sans comité de lecture.....	91
	Conférences internationales avec comité de lecture.....	91
	Workshops internationaux avec comité de lecture.....	94
	Conférences françaises avec comité de lecture.....	94

TABLE DES ILLUSTRATIONS

FIGURE 1. EXEMPLE D'IMAGE GENEREE EN FOND DE SCENE A PARTIR D'ETATS DE LA VOIX DE LA COMEDIENNE (EN BLANC : VALERIE LE LOUEDEC), ENTRAINEE PAR LA DANSEUSE (EN NOIR : MAGALI BRUNEAU). PHOTOGRAPHIE : JULIEN PIEDPREMIER.....	34
FIGURE 2. SCHEMA SYNOPTIQUE DU DISPOSITIF POUR LA TRAVERSEE DE LA NUIT (2003). SOURCE : ALAIN BONARDI.....	37
FIGURE 3. SCHEMA DE PRINCIPE DE LA FORME OUVERTE DE L'OPERA ALMA SOLA. SOURCE : ALAIN BONARDI.	46
FIGURE 4. PHOTOGRAPHIE PRISE LORS DE REPETITIONS D'ALMA SOLA AU CUBE EN OCTOBRE 2005, MONTRANT UNE PARTIE DU DISPOSITIF SCENOGRAPHIQUE. FAUST : CAROLINE CHASSANY; DIRECTION MUSICALE : IGNAZIO TERRASI. PHOTOGRAPHIE : PHILIPPE MONGES.	47
FIGURE 5. UNE COPIE D'ECRAN DU PATCH HMM ET DES OBJETS CREEES POUR MAX/MSP. SOURCE : ALAIN BONARDI.....	49
FIGURE 6. COPIE D'ECRAN D'UN AGENCEMENT DE L'EXPOSITION. SOURCE : BENJAMIN ROADLEY.....	55
FIGURE 7. UNE COPIE D'ECRAN DE LA RESERVE. SOURCE : BENJAMIN ROADLEY.	56
FIGURE 8. COPIE D'ECRAN DES MODULES DE CALCUL DE DESCRIPTEURS ET DES AGREGATEURS VIDEO ET AUDIO RASSEMBLES DANS UN MEME PATCH. SOURCE : ALAIN BONARDI.	68
FIGURE 9. A PARTIR D'UN CHOIX DE SEQUENCES FILMEES ETABLI PAR LE METTEUR EN SCENE, L'ORDINATEUR PROPOSE LES COMPOSANTES PRINCIPALES ET INDIQUE LES DESCRIPTEURS CORRESPONDANTS. SOURCE : ALAIN BONARDI.	69
FIGURE 10. SCHEMA SYNOPTIQUE DE « L'ASSISTANT-FAÇONNAGE ». SOURCE : ALAIN BONARDI.	70
FIGURE 11. EXEMPLE DE PATCH MONTRANT LES OBJETS LV1 ET GMPA1 EN SITUATION. SOURCE : ALAIN BONARDI.....	73
FIGURE 12. COPIE D'ECRAN DE L'INTERFACE LIEE A L'OBJET RULECOMPOSER. SOURCE : ALAIN BONARDI.	73