HAL
open science

Traitement musical dans les troubles du spectre autistique : déficit du traitement global ou surfonctionnement des traitements perceptifs ?

Lucie Bouvet

To cite this version:

Lucie Bouvet. Traitement musical dans les troubles du spectre autistique : déficit du traitement global ou surfonctionnement des traitements perceptifs ?. Médecine humaine et pathologie. Université de Grenoble, 2012. Français. NNT : 2012GRENS003 . tel-00747457

HAL Id: tel-00747457

https://theses.hal.science/tel-00747457

Submitted on 31 Oct 2012

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.

UNIVERSITÉ DE GRENOBLE

Laboratoire de Psychologie & NeuroCognition – CNRS UMR 5105
Ecole Doctorale Ingénierie pour la Santé, la Cognition et l'Environnement

THÈSE

Présentée par **Lucie BOUVET**

Pour obtenir le grade de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE
Spécialité : Sciences cognitives, Psychologie et Neurocognition
Arrêté ministériel : 7 août 2006

Traitement musical dans les troubles du spectre autistique :

Déficit du traitement global ou surfonctionnement des traitements perceptifs ?

Sous la direction de **Sylviane VALDOIS** et co-direction de **Sophie DONNADIEU**

Thèse soutenue publiquement le **30 Janvier 2012**

Devant le jury composé de :

Laurent MOTTRON	PR	CETEDUM, Université de Montréal	Rapporteur
Séverine SAMSON	PR	Université de Lille 3	Rapporteur
Christine DERUELLE	DR	CNRS, Université de la Méditerranée	Examinateur
Marie GOMOT	CR	INSERM, Université de Tours	Examinateur
Barbara TILLMANN	DR	CNRS, Université de Lyon 2	Examinateur

« *L'extraordinaire –et parfois très opportune– ingéniosité de l'humanité m'enthousiasme. Si vous vous retrouvez dans un navire qui coule et que tous les canots sont partis, un couvercle de piano qui flotte suffisamment bien pour vous maintenir à la surface vous servira de bouée de sauvetage de fortune. Mais cela ne veut pas dire que la meilleure façon de concevoir une bouée de sauvetage soit de lui donner la forme d'un couvercle de piano. Je pense que nous nous accrochons à un grand nombre de couvercles de piano en acceptant les découvertes d'hier comme étant les seules manières de résoudre un problème donné.* »

Richard Buckminster-Fuller

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Sophie Donnadieu, pour son encadrement tout au long de cette thèse. Merci pour ta rigueur, ton enthousiasme, nos échanges, ta gentillesse, et ta disponibilité. Merci de m'avoir laissé autonome en étant toujours présente quand j'en avais besoin. Merci de m'avoir accompagnée dans cette aventure, d'y avoir cru autant que moi et de m'avoir poussé toujours plus loin. Merci également à Sylviane Valdois pour sa disponibilité, son dynamisme, et ses encouragements.

Merci aux membres du jury Séverine Samson, Laurent Mottron, Christine Deruelle, Marie Gomot et Barbara Tillmann d'avoir accepté de lire et d'évaluer ce travail.

Je tiens également à remercier Laurent Mottron pour les 8 mois passés dans son laboratoire. Merci de votre accueil, nos échanges, et de cette collaboration (même si elle n'est pas musicale !).

Ce travail n'aurait pas pu être réalisé sans l'aide des membres du Cadipa et du Cesa. Merci plus particulièrement à Brigitte Assouline, Stéphane Cabrol, Cécilie Rondan, Annik Bejeannin, Rocio Roure, Dominique Ramak. Merci également à toutes les familles qui ont accepté de participer à cette étude et des échanges très enrichissants que nous avons pu avoir. Un merci tout particulier à FC, sa mère ainsi qu'à toute sa famille pour avoir accepté de participer à cette étude avec autant d'enthousiasme. Merci à Aurélie Bock pour les passations dans les écoles.

Merci également à tous les membres du LPNC. Merci pour votre accueil, votre disponibilité, la bonne humeur régnante et les échanges scientifiques ou pas. Un merci particulier à Stéphane Rousset pour m'avoir guidé et formé lors de mes premiers pas dans la recherche. Merci également d'avoir cru ce projet possible. Merci à Claire Leroy, secrétaire d'exception. Merci aux doctorants présents et passés du LPNC. Les anciens : Anne, Alice Seb, Marie, Fleur, Jen merci de nous avoir guidé dans le chemin semé d'embuches de la thèse. Merci aux co-bureaux du 222bis (et extensions) pour ces 3 années passés ensemble: Anne T, Ben F., Ben M., Gaetan, Matilde, Muriel, Nico, Solène, Yanica. Merci aux copines : Anne, Fanny, MPi, Marcela, Solène, Yanica, Rachel, Claire, Anais, Marie-Lise, Clotilde. Merci à tous pour votre amitié, votre soutien, de nos conversations, et nos fous rires. Merci à Anne, Marcela, MPi, Ben, Solène, et Fabienne pour les relectures. Merci aux copines de Galère, Marie-Pierre et Marcela, sans vous je n'en serais pas là. Merci également aux gens du LIP et spécialement à Anne Chabaud, Cécile, Dominique, Jen.

Je te tiens également à remercier les membres d'HRDP pour leur accueil et leur gentillesse : Fabienne, Isabelle, Patricia, Elise, Andrée-Anne c'était ben l'fun !

Merci également aux amis de longues dates pour leur soutien et leur amitié: Estelle, Jules, Claire, Nada, Roxane, Matt, Julien, Mélanie et les petits bouts. Vous êtes ma bouffée d'air. Merci aux copains de Montréal : Katell, Lucie, Clotilde, Julien, Paulo, Nieves, Sabrina, Foué, Coline, Clem, Hussam. Ça a été vraiment un superbe été avec vous, j'espère vous retrouvez vite !! Merci à ma famille qui même aux 4 coins du monde arrive à se retrouver et à passer des moments inoubliables. Merci à mes parents pour leur soutien inconditionnel.

Résumé

Ces travaux ont pour but d'explorer le traitement musical chez les personnes présentant un trouble du spectre autistique (TSA). Cette question a été abordée sous l'angle des traitements global et local dans le cadre des deux théories cognitives dominantes de l'autisme : i) la faiblesse de cohérence centrale et ii) la théorie du surfonctionnement perceptif. Ces deux théories postulent la présence d'un biais de traitement envers l'information locale dans l'autisme provenant, soit i) d'un déficit du traitement global, soit ii) d'une capacité perceptive supérieure. A travers une dizaine d'études, nous avons confronté ces deux théories en manipulant les traitements global et local dans la musique. Nous avons aussi questionné la perception auditive chez ces personnes ainsi que son impact sur des traitements de plus haut niveau. Dans l'ensemble, nos travaux mettent en évidence une plus grande implication des processus perceptifs dans le traitement musical chez ces personnes, allant dans le sens de la théorie du surfonctionnement perceptif. Par ailleurs, certains de nos résultats pointent un mécanisme cognitif central chez les personnes autistes : le mécanisme de cartographie véridique.

Abstract

This research aimed to explore musical processing in individuals with an autistic spectrum disorder. This question has been tackled by exploring global and local processing in the framework of the two main cognitive theories of autism: i) the weak central coherence theory and ii) the enhanced perceptual processing theory. These two theories postulate a bias toward local processing in autism which originates either from i) a global processing deficit or ii) enhanced perceptual capacities. Through ten studies, we confronted these two theories by manipulating global and local processing of music. We also explored auditory perception in autistic people and its impact on higher musical processing. Globally, our research highlights a greater implication of perceptual processes in musical processing, giving support to the enhanced perceptual processing theory. In addition, some of our results point to a central cognitive mechanism in autism: the mechanism of veridical mapping.

Financements

Cette thèse a été financée par une allocation de recherche du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. Elle a été réalisée au sein du Laboratoire de Psychologie et de NeuroCognition (CNRS UMR 5105) et de l'Ecole Doctorale Ingénierie pour la Santé, la Cognition et l'Environnement.

Ce travail a également bénéficié d'un soutien, sous la forme d'une bourse de soudure, de la fondation Orange.

Table des matières

INTRODUCTION GÉNÉRALE 1

Revue de littérature et perspectives théoriques 3

CHAPITRE 1. VUE D'ENSEMBLE DES TROUBLES DU SPECTRE AUTISTIQUE 5

1. Définition et étiologies 5
   1.1. L'autisme : définition, classification et diagnostic 5
   1.2. Etiologies 8
      1.2.1. Génétique 8
      1.2.2. Structures neuronales 9
      1.2.3. Connectivité neuronale 10
2. Modèles cognitifs dans l'autisme 13
   2.1. Habiletés cognitives des personnes autistes 15
   2.2. La faiblesse de cohérence centrale 17
   2.3. Une supériorité perceptive : le modèle EPF 19

CHAPITRE 2. CONCEPTS DES TRAITEMENTS GLOBAL ET LOCAL 25

1. Principes de groupement perceptif 25
2. Le traitement global et local visuel 28
   2.1. Définition et concepts du traitement global et local 28
   2.2. Le traitement visuel global-local chez l'enfant 30
3. Le traitement global et local musical 32
   3.1. La voie mélodique et le traitement global et local 33
   3.2. Le développement des traitements global et local musical chez l'enfant 37
   3.3. Questionnement du traitement global et local en audition 38

CHAPITRE 3. TRAITEMENTS GLOBAL ET LOCAL DANS LES TROUBLES DU SPECTRE AUTISTIQUE 41

1. L'étude du traitement global et local visuel dans l'autisme 41
2. Le traitement musical chez les personnes autistes 46
   2.1. L'étude du traitement global et local musical dans l'autisme 47
   2.2. Des capacités dépassant le domaine musical 51

CHAPITRE 4. LA PERCEPTION AUDITIVE DANS LES TROUBLES DU SPECTRE AUTISTIQUE 53

1. La perception auditive dans les TSA 54
   1.1. Les caractéristiques acoustiques du son 55
   1.2. Etudes sur le traitement auditif dans l'autisme 56
2. La « complexité neuronale » 59

CHAPITRE 5. LA QUESTION DE L'OREILLE ABSOLUE DANS L'AUTISME 63

1. Le phénomène de l'oreille absolue dans la population générale 63
2. L'oreille absolue : un sous-type de synesthésie ? 66
3. L'oreille absolue dans l'autisme 67
4. L'autisme et la synesthésie 69
5. Le mécanisme de cartographie véridique 70

PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS 73

Partie expérimentale 75

CONSIDÉRATIONS MÉTHODOLOGIQUES 77

1. Participants 77
1.1. Groupe TSA adulte et enfant 77
1.2. Groupe contrôle 78
1.2.1. Groupe contrôle adulte 78
1.2.2. Groupe contrôle enfant 79
2. Procédure générale 80
3. Analyse des résultats 81

CHAPITRE 6. LE TRAITEMENT GLOBAL ET LOCAL MUSICAL DANS LES TROUBLES DU SPECTRE AUTISTIQUE : ETUDE 1 85

1. Etudes 1a et 1b : Tâche de discrimination de séquences mélodiques 85
1.1. Participants 85
1.2. Stimuli 86
1.3. Procédure 87
1.4. Résultats de l'Etude 1a : tâche de discrimination mélodique (contour/intervalle) 88
1.4.1. Analyse des d' 89
1.4.2. Analyse des critères de décision 90
1.4.3. Analyse développementale 91
1.4.3.1. Analyses par groupes 91
1.4.3.2. Comparaison du groupe TSA au groupe contrôle 92
1.5. Résultats de l'Etude 1b : tâche de discrimination de mélodies transposées 93
1.5.1. Analyse des *d'* 94
1.5.2. Analyse des critères de décision 94
1.5.3. Analyse développementale 95
1.5.3.1. Analyse par groupes 95
1.5.3.2. Comparaison des deux groupes. 96
2. Etude 1c : Tâche de discrimination d'accords 97
2.1. Participants 97
2.2. Stimuli 97
2.3. Procédure 98
2.4. Résultats 99
2.4.1. Analyse des *d'* 99
2.4.2. Analyse des critères de décision 100
2.4.3. Analyse développementale 101
2.4.3.1. Analyses par groupes 101
2.4.3.2. Comparaison des groupes contrôle et TSA 102
3. Discussion de l'Etude 1 103

CHAPITRE 7. LE TRAITEMENT AUDITIF DANS LES TSA ET SON IMPACT SUR LES TRAITEMENTS DE PLUS HAUT NIVEAUX : ETUDE 2 107

1. Participants 107
2. Stimuli 108
3. Procédure 109
4. Résultats 110
4.1. Résultats à l'Etude 2a : Tâche de discrimination de fréquences 110

4.1.1. Analyse des d' 111
4.1.2. Analyse des critères de décision 112
4.1.3. Analyse développementale 112
4.2. Résultats de l'Etude 2b : tâche de discrimination de durée 113
4.2.1. Analyse des d' 114
4.2.2. Analyse des critères de décision 115
4.2.3. Analyse développementale 115
4.3. Résultats de l'Etude 2c : tâche de discrimination d'intensité 116
4.3.1. Analyse des *d'* 117
4.3.2. Analyse des critères de décision 118
4.3.3. Analyse développementale 119
5. Corrélations entre les différentes tâches de discrimination auditive 120
6. Corrélations entre la perception auditive et le traitement musical 122
7. Discussion de l'Etude 2 125

CHAPITRE 8. EXPLORATION DE L'ANALOGIE DES TRAITEMENTS GLOBAL ET LOCAL ENTRE LA VISION ET L'AUDITION : ETUDE 3 ET ETUDE 4 129

1. Etude 3 : tâche de discrimination de formes visuelles 129
1.1. Participants 129
1.2. Stimuli 130
1.3. Procédure 130
1.4. Résultats 131
1.4.1. Analyse des temps de réponse 131
1.4.2. Analyse développementale 134
1.4.2.1. Analyses par groupes 134
1.4.2.2. Comparaison du groupe contrôle au groupe TSA 135
1.4.3. Corrélations entre les modalités visuelle et auditive 136
1.4.4. Discussion de l'Etude 3 138
2. Etude 4. A la recherche de l'équivalent auditif des traitements global et local visuel 140
2.1. Méthode 140
2.1.1. Participants 140
2.1.2. Matériel 140
2.1.3. Procédure Générale 141
2.2. Résultats 142
2.2.1. Modalité visuelle 143
2.2.2. Modalité auditive 143
2.2.3. Corrélations entre les deux modalités 145
2.3. Discussion de l'Etude 4 148

CHAPITRE 9. L'IMPLICATION DES PROCESSUS ASCENDANTS ET DESCENDANTS EN AUDITION DANS LES TSA: ETUDE 5 155

1. Méthodologie 158
1.1. Participants 158
1.2. Stimuli 158
1.3. Procédure 159
2. Résultats 160
2.1. Analyse des *d'* 160
2.2. Critère de décision 164
2.3. Analyses développementales 165
3. Discussion de l'Etude 5 166

CHAPITRE 10. MECANISME DE CARTOGRAPHIE VERIDIQUE DANS LE SYNDROME SAVANT : ETUDE 6 171
1. Description du cas 171
1.1. Histoire développementale 171
1.2. Evaluation Neuropsychologique 173
1.2.1. QI 173
1.2.2. Autres tests neuropsychologiques 173
1.3. Capacités musicales 174
1.4. Capacités savantes 175
1.4.1. Oreille absolue 175
1.4.2. Calcul de calendrier 175
1.4.3. Calcul mental 175
2. Tests de ces capacités musicales et auditives 176
3. Synesthésies 180
4. Conclusion sur l'Etude 6 182
Conclusion et discussion 187
CHAPITRE 11. DISCUSSION GENERALE, PERSPECTIVES ET CONCLUSION 189
1. Résumé des résultats des différentes études 190
2. Conclusion sur les modèles WCC et EPF 194
2.1. Biais local et déficit global 194
2.2. Les capacités perceptives des personnes autistes 195
3. L'étude de l'autisme dans une perspective développementale 197
4. La détection de patterns auditifs 198
5. Importance de l'étude des capacités musicales dans l'autisme 200
6. Synesthésie et autisme 203
6.1. Oreille absolue, synesthésie et autisme 203
6.2. Hyperconnectivité neuronale 206
6.3. Génétique 207
7. Conclusion générale 208
REFERENCES 211
INDEX DES FIGURES 237
INDEX DES TABLEAUX 241
Annexes 243
I. Valorisation de la thèse 245
II. Tâche de discrimination mélodique (Etude 1a et 1b) : stimuli 247
II. Tâche de discrimination d'accords (Etude 1c) : stimuli 253
III. Tâche de discrimination de formes visuelles (Etude3) : stimuli 255
IV. Tâche de ségrégation de flux mélodiques (Etude 5) : stimuli 257
V. Questionnaire de synesthésie 295
VI. Dictées musicales pour tester la possession de l'oreille absolue 301

Introduction générale

"The outstanding "pathognomonic", fundamental disorder is the children's inability to relate themselves in the ordinary way to people and situations from the beginning of life. […] This is not, as in schizophrenic children or adults, a departure from an initially present relationship; it is not a "withdrawal" from formerly existing participation. There is from the start an extreme autistic aloneness that, whenever possible, disregards, ignores, and shuts out anything that comes to the child from the outside. Direct physical contact or such motion or noise as threatens to disrupt the aloneness is either treated "as if it weren't there" or, if this is no longer sufficient, resented painfully as distressing interference. […]. Even though most of these children were at one time or another looked upon as feebleminded, they are all unquestionably endowed with good cognitive potentialities. […] The astounding vocabulary of the speaking children, the excellent memory for events of several years before, the phenomenal rote memory for poems and names, and the precise recollection of complex patterns and sequences, bespeak good intelligence in the sense in which this word is commonly used." (Kanner, 1943, p.242).

Depuis l'article fondateur de Léo Kanner publié en 1943 et décrivant le syndrome autistique à travers les cas de 11 enfants, plus de 50 années de recherche ont tenté de percer l'énigme de l'autisme. Aujourd'hui, l'autisme est considéré comme un handicap touchant environ un enfant sur 156 selon les dernières études épidémiologiques (Fombonne, 2009). La prévalence de ce trouble semble être en augmentation constante puisque les premières études l'évaluaient à un enfant sur 535 (Fombonne, 1999). Cette augmentation fait de l'autisme un problème de santé publique majeur. De 2008 à 2010, le gouvernement français a conduit le Plan Autisme dont un des objectifs était « d'élaborer et d'actualiser régulièrement le corpus de connaissances sur l'autisme » et de permettre le développement de la recherche sur ce trouble. Au-delà d'une atteinte de la sphère sociale dans l'autisme, un profil cognitif atypique est aussi observé. Depuis plus de 20 ans, les recherches menées sur les capacités cognitives des personnes autistes ont permis des avancées importantes dans la compréhension de ce trouble et du fonctionnement cognitif des personnes autistes.

Dans ce travail nous aborderons la question des capacités cognitives et perceptives dans l'autisme via le traitement musical. En effet, la musique semble être, depuis les premières descriptions de Kanner jusqu'à aujourd'hui, un centre d'intérêt pour les personnes autistes. Les capacités dans ce domaine semblent préservées voire même exceptionnelles dans certains cas (Applebaum, Egel, Koegel, & Imhoff, 1979 ; Miller, 1989). Malgré un intérêt évident pour la musique, relativement peu d'études ont été menées comparativement à la modalité visuelle.

Pour aborder cette question, nous présenterons tout d'abord les principaux modèles cognitifs dans le chapitre 1: la faiblesse de cohérence centrale (Frith, 1989) et le surfonctionnement des traitements perceptifs (Mottron et al., 2006). Ces modèles, à partir de l'observation de performances supérieures dans des tâches mettant en jeu les capacités à extraire des éléments locaux indépendamment de la forme globale, questionnent la supériorité du traitement local, c'est-à-dire un biais local dans l'autisme. Plus particulièrement, alors que le modèle de la faiblesse de cohérence centrale postule un déficit de l'intégration globale des éléments, le modèle du surfonctionnement des traitements perceptifs postule une origine perceptive.

Au Chapitre 2, nous définirons tout d'abord les concepts de traitement global et local tels qu'observés par l'étude de Navon (1977) dans la modalité visuelle. Dans un second temps, nous présenterons ces concepts dans la modalité auditive et nous questionnerons l'analogie entre les deux modalités. Ayant défini ces concepts, nous présenterons au Chapitre 3, les différentes études ayant été réalisées dans la modalité visuelle puis dans la modalité auditive ayant pour but d'évaluer la présence d'un biais envers le traitement local dans l'autisme. Les capacités des personnes autistes semblant dépasser le domaine musical, nous questionnerons plus généralement leurs capacités auditives au Chapitre 4. Enfin, étant donné la prévalence plus élevée d'oreille absolue (i.e., capacité à identifier une note sans note de référence) dans l'autisme par rapport à la population typique, nous aborderons cette question au Chapitre 5.

Revue de littérature et perspectives théoriques

Chapitre 1. Vue d'ensemble des troubles du spectre autistique

1. Définition et étiologies

1.1. L'autisme : définition, classification et diagnostic

L'autisme est défini comme un trouble envahissant du développement (TED) selon le manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux (DSM IV, APA, 1994). Les TED sont caractérisés par une triade de comportements atypiques dans le domaine de la communication verbale et non verbale, des interactions sociales, des intérêts et de l'imagination. La présence de ces signes doit être observée avant l'âge de 3 ans. Le terme TED regroupe l'autisme, le syndrome d'Asperger, les troubles envahissants du développement non spécifiés (TED-NoS), le syndrome de Rett, le trouble désintégratif de l'enfance. L'autisme, le syndrome d'Asperger et les TED-Nos constituent un continuum en termes de mécanismes cérébraux impliqués, alors que le syndrome de Rett et le trouble désintégratif de l'enfance ont une base génétique qui leur est propre et ne doivent leur appartenance à la catégorie des TED que par leurs manifestations cliniques (Mottron, 2006). Généralement, l'autisme, le syndrome d'Asperger, et les TED-Nos sont regroupés sous le terme de Troubles du Spectre Autistique (TSA)[1]. C'est cette population que nous allons décrire en détail.

Tout d'abord, deux formes sont généralement distinguées dans le syndrome autistique : l'autisme de haut-niveau, c'est à dire sans retard mental, et celui de bas-niveau, avec un retard mental (QI < 70). La proportion de personnes autistes avec un retard mental varie entre 25 et 60% selon les études épidémiologiques (Baird et al., 2000 ; Chakrabarti & Fombonne, 2001 ; Fombonne, 2001, 2009). Cependant, les capacités intellectuelles des personnes autistes sont souvent

[1] Par un abus de langage, le terme autisme est souvent utilisé pour parler de personnes avec un TSA.

[2] Ces quatre modules sont destinés à des enfants non verbaux, des enfants avec un niveau de

masquées par la présence d'un retard de langage (premiers mots après 24 mois et premières phrases vers 36 mois). En effet, les échelles de QI, faisant souvent appel aux capacités verbales, sous évaluent généralement les compétences intellectuelles réelles des personnes autistes (Dawson, Soulières, Gernsbacher, & Mottron, 2007). Généralement, la plupart des études scientifiques concernent une population de personnes autistes de haut-niveau pour éviter l'inclusion d'éventuelles variables confondues (Mottron, 2004). Enfin, le syndrome d'Asperger, décrit pour la première fois par Hans Asperger, est une forme assez proche de l'autisme de haut niveau, si bien qu'ils sont souvent confondus. Pourtant, une différence importante entre l'autisme et le syndrome d'Asperger est l'absence de retard de langage dans ce dernier. Enfin, le terme TED-Nos désigne les personnes atteintes d'un trouble envahissant du développement mais où les troubles ne sont pas présents dans toutes les catégories de symptômes (i.e., le langage, la communication ou bien les intérêts restreints et stéréotypés).

Le diagnostic des TSA est principalement réalisé à l'aide de deux outils: l'Autism Diagnostic Interview-revised (ADI-r, Lord, Rutter, & Le Couteur, 1994) et l'Autism Diagnostic Observation Schedule (ADOS, Lord et al., 1989). L'ADI-r est un entretien semi-structuré conduit avec un parent de la personne. En 93 questions, cet outil permet d'évaluer le fonctionnement et la conduite de la personne au moment présent et sur la période d'âge entre 4 et 5 ans. Ainsi, cet outil permet d'évaluer des anomalies dans le domaine de la communication, des interactions sociales et du comportement. Si les scores dépassent le score seuil dans chacun des trois domaines, le diagnostic d'autisme peut être posé. L'ADOS est une échelle d'observation dont le but est de placer la personne dans une situation sociale où elle devra interagir, permettant ainsi de coter certains comportements. Quatre modules[2] ont été développés, chacun étant destiné à un niveau de langage à un moment donné du développement.

[2] Ces quatre modules sont destinés à des enfants non verbaux, des enfants avec un niveau de langage faible, des enfants et adolescents avec un niveau de langage fluide, et des adolescents et adultes avec un niveau de langage plus élaboré.

Une particularité de l'autisme est son association au syndrome savant (i.e., des capacités supérieures chez une personne dépassant largement son niveau de fonctionnement général). La première description du syndrome savant a été faite par Down (1887). Dans cette description, il utilise le terme d'« idiot savant » du fait du contraste entre le QI souvent inférieur à la moyenne et des capacités exceptionnelles dans certains domaines. Il y décrit les cas de 10 personnes avec « des capacités spéciales » (capacités musicales, arithmétiques). Un des patients a ainsi mémorisé « *La montée et le déclin de l'empire romain* » par cœur et est capable de le réciter à l'endroit ou à l'envers (cité par Treffert, 2009). Le terme a évolué plus tard vers le terme de syndrome savant. Le cas le plus connu de syndrome savant est certainement le cas de Kim Peek qui a inspiré le film « Rain Man », connu pour avoir une mémoire exceptionnel et être calculateur de calendrier (e.g., être capable de dire que le 21 octobre 1998 tombe un mercredi). Le calcul mental (e.g., le calcul instantané de multiplications, de racines carrés ou bien de chiffres premiers), l'oreille absolue (e.g., être capable d'identifier une note sans note de référence) ou encore des capacités artistiques exceptionnelles (voir Figure 1) sont l'expression de différentes capacités savantes. Le syndrome savant est souvent associé à l'autisme puisqu'environ une personne autiste sur 200 posséderait des capacités savantes (Hermelin, 2001). Les mécanismes qui sous-tendent le syndrome savant et son lien avec le syndrome autistique sont encore mal connus. Ainsi, comme le soulignent en conclusion Heaton & Wallace : "We thus conclude that autism (or autistic traits) and savant skills are inextricably linked and we should therefore look to autism in our quest to solve the puzzle of the savant syndrome." (2004, p.889).

Figure 1. Photo de Stephen Wiltshire, artiste autiste savant, reproduisant de mémoire la ville de Tokyo. © Stephen Wiltshire

1.2. Etiologies

Un grand nombre de recherches ont tenté d'identifier les bases génétiques et neuronales pouvant être impliquées dans les TSA.

1.2.1. Génétique

En 1968, Rutter note qu'environ 2 à 3% des familles décrites dans les premières études publiées, comportaient plus d'un enfant autiste, ce qui est 50 à 100 fois plus important que la prévalence observée dans la population générale (Rutter, 1968). L'observation d'un taux de concordance[3] plus élevé chez les jumeaux monozygotes que dizygotes a renforcé l'idée d'une base génétique de l'autisme (Folstein & Rutter, 1977). Certaines études épidémiologiques indiquent que les jumeaux monozygotes ont un taux de concordance entre 70-90% pour l'autisme alors qu'il est seulement de 10% pour les jumeaux dizygotes (Bailey et al., 1995). De plus, le risque de développer un trouble autistique est 20 fois plus

[3] Un taux de concordance indique un taux de similarité pour certaines caractéristiques entre deux individus ou groupes d'individus. Ainsi si des personnes ont un taux de concordance de 5%, elles ont donc 5% de chances de présenter la même caractéristique.

élevé chez les apparentés du 1er degré (O'Roak & State, 2008). Ces résultats soulignent donc le caractère hautement héritable de l'autisme. La recherche se porte aujourd'hui sur certains chromosomes candidats comme le chromosome 2, 3, 7, 15 et/ou le chromosome X étant donné le ratio de 4 garçons pour 1 fille avec un TSA. Ces chromosomes ont été plusieurs fois retrouvés associés à l'autisme et leur observation révèle donc que plusieurs régions chromosomiques pourraient être impliquées (Abrahams & Geschwind, 2008). L'aberration chromosomique la plus souvent observée dans l'autisme est la duplication de la région chromosomique 15q11–15q13 (Jamain et al., 2003), renforçant ainsi l'idée d'une région chromosomique avec un ou des gènes impliqués dans l'autisme. Ces recherches indiquent par conséquent l'existence d'une condition génétique dans l'autisme n'ayant pas pour cause un seul gène spécifique mais plutôt une combinaison de gènes.

1.2.2. Structures neuronales

Pour mieux comprendre le phénomène autistique, un marqueur neuronal permettant d'identifier l'autisme a également été recherché. Tout d'abord, plusieurs études ont rapporté un phénomène de macrocéphalie dans l'autisme. En effet, les enfants autistes présentent souvent un volume cérébral total supérieur à celui observé dans la population typique (Courchesne, Carper, & Akshoomoff, 2003 ; Sparks et al., 2002). Ce plus gros volume cérébral s'observerait également chez les personnes autistes adultes (Hazlett et al., 2009). Ensuite, d'autres études indiquent une asymétrie hémisphérique atypique au niveau de certaines structures cérébrales, néanmoins, les résultats sont divergents concernant le sens de cette asymétrie (droite *vs.* gauche). En effet, une asymétrie en faveur du gyrus frontal gauche est normalement observée dans la population typique, mais dans la population autiste il semble que cette asymétrie soit inversée (De Fossé et al., 2004 ; Herbert et al., 2002 ; mais voir McAlonan et al., 2005 pour des résultats contradictoires). Au niveau du planum temporale un volume plus important a également été observé au niveau de l'hémisphère gauche dans l'autisme (Rojas, Bawn, Benkers, Reite, & Rogers, 2002 ; Rojas,

Camou, Reite, & Rogers, 2005) alors que d'autres observent une réduction du volume de cette structure pour les deux hémisphères (Boddaert et al., 2004). Plus récemment, une méta-analyse reprenant 16 études réalisées en Voxel Based Morphometry (VBM), permettant l'investigation de différences focales dans l'anatomie cérébrale a été réalisée (Nickl-Jockschat et al., 2011). En reprenant les données anatomiques de 277 personnes TSA et 303 personnes typiques contrôles, enfants et adultes, plusieurs lieux d'anomalies cérébrales ont pu être observés : le lobe occipital latéral, la région pré-central, le lobe temporal médian, les ganglions de la base et les régions proches de l'opercule pariétal droit. Cette étude est la première à reprendre les données anatomiques acquises dans le domaine de l'autisme depuis une dizaine d'années. De plus, alors que les études sont habituellement menées sur de faibles échantillons (15 à 30 participants dans chaque groupe) cette étude permet de mettre en évidence des différences anatomiques sur une large cohorte. Cependant, elle ne permet pas de savoir si ces marqueurs sont présents dès le plus jeune âge et s'ils correspondent vraiment à un marqueur propre de l'autisme ou bien si ces différences sont le résultat de plusieurs facteurs étiologiques.

1.2.3. Connectivité neuronale

L'hypothèse d'une connectivité neuronale atypique a également été avancée pour expliquer le syndrome autistique. La connectivité neuronale est mesurée par la densité de la matière blanche. Selon Just et al. (2004), il existerait un phénomène d'hypo-connectivité dans l'autisme. Belmonte et al. (2004) proposent, quant à eux, que s'il existe bien un phénomène d'hypo-connectivité dans l'autisme, celui-ci concernerait les connexions à longues distances, et serait associé à un phénomène d'hyper-connectivité, qui concernerait cette fois-ci les connexions de courtes distances (voir Figure 2). Ce phénomène s'opposerait donc au pattern de connectivité observé dans la population générale où un renforcement des connections longues distances s'effectuerait au cours du temps au détriment des connections courtes distances (Fair et al., 2009). Si le

phénomène d'hypo-connectivité dans l'autisme est maintenant assez établi grâce à des études menées en Imagerie par Résonnance Magnétique fonctionnelle (IRMf), électro-encéphalographie (EEG) ou Imagerie du Diffuseur de Tension (IDT) (pour une revue voir, Wass, 2011), les données d'imagerie allant dans le sens d'une hyper-connectivité locale (sur-connectivité dans une même région cérébrale) sont rares (Belmonte & Yurgelun-Todd, 2003 ; Rippon, Brock, Brown, & Boucher, 2007 ; Shukla, Keehn, Smylie, & Müller, 2011). Les résultats appuyant l'idée d'une hyper-connectivité locale viennent d'études au niveau micro-cellulaire, où une surabondance de mini colonnes corticales (unités d'organisation neuronale) est observée (Casanova & Trippe, 2009). Cette connectivité atypique est le plus souvent observée au niveau des lobes frontal et temporal (Wass, 2011). Cette connectivité atypique pourrait être un marqueur de l'autisme puisqu'un développement atypique de la matière blanche est déjà observé chez des enfants de 2 ans à risque autistique (Ben Bashat et al., 2007 ; Hazlett et al., 2005). Il faut tout de même considérer ces résultats dans le contexte d'un désordre neurologique puisque plusieurs pathologies semblent aussi impliquer un phénomène de connectivité atypique (trouble du déficit de l'attention et de l'hyperactivité : Clarke et al., 2008 ; schizophrénie : Micheloyannis et al., 2006 ; dyslexie : Richards & Berninger, 2008).

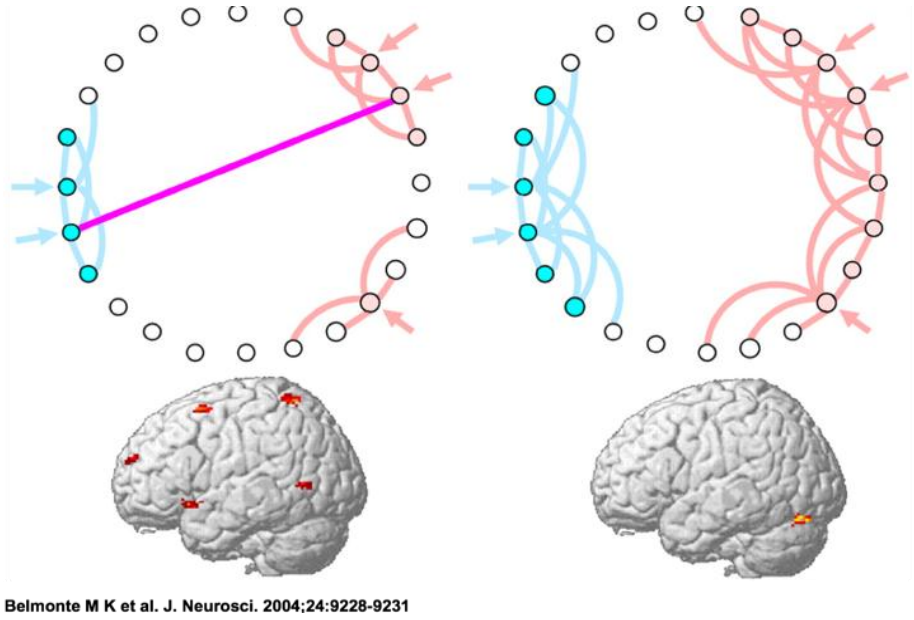


Figure 2. Effets potentiels de la connectivité neuronale sur l'activation cérébrale. Les images cérébrales en bas, issues d'une tâche d'attention visuelle, montrent les patterns distribués de l'activation fonctionnelle cérébrale d'une personne typique (gauche) et l'activation localisée anormalement intense d'une personne autiste (droite), un pattern d'activation qui pourrait refléter une connectivité atypique du réseau neuronal. En haut à gauche, une combinaison d'une forte connectivité locale délimitée dans des groupes d'unités neuronales (en rose et en bleu) et une connectivité longue distance sélective entre les groupes locaux (en violet) est représentée. Cette combinaison constitue une structure dans laquelle l'information peut être facilement propagée. Les entrées sensorielles (flèches présentées par paires) évoquent des représentations qui peuvent être facilement distinguées du bruit (flèches simples) et peuvent être liées entre les régions, produisant ainsi une connectivité élevée. Dans le réseau de droite, les sous régions fortement connectées ne sont pas délimitées et différenciées de façon appropriée et les connexions longues distances significatives échouent à se développer (tiré de Belmonte et al., 2004).

En conclusion, il n'existe pas de facteur clairement défini pouvant expliquer à lui seul les troubles du spectre autistique. L'autisme serait donc un trouble neuro-développemental complexe résultant de plusieurs étiologies. C'est ce postulat qui a motivé le développement d'une nouvelle théorie de l'autisme, résultant de nombreuses recherches en neurobiologie. Cette théorie dite du monde intense (Markram, Rinaldi, & Markram, 2007 ; Markram & Markram, 2010) a l'intérêt d'être une théorie unificatrice des différentes causes supposées de l'autisme et permet ainsi de proposer une cause commune à l'ensemble des symptômes observés dans l'autisme. Cette théorie est basée sur le modèle animal et plus particulièrement sur celui du rat. En effet, en utilisant le modèle de fonctionnement de l'acide valproique (médicaments antiépileptiques affectant les neurotransmetteurs GABA) chez le rat, ces auteurs proposent une cause

moléculaire à l'autisme. Selon cette théorie, trois facteurs étiologiques seraient à l'origine de l'autisme : une prédisposition génétique, une attaque épigénétique sous la forme d'une agression toxique, et des facteurs environnementaux durant le développement post-natal. Ces facteurs étiologiques activeraient un syndrome moléculaire qui pourrait s'exprimer de façon différente en fonction des régions cérébrales mais qui conduirait dans tous les cas à des réseaux hyper fonctionnels (exprimés par une hyper réactivité et une hyper plasticité) dans toutes les régions du cerveau. Des affections sont observées au niveau du néocortex et au niveau des noyaux amygdaliens. L'hypothèse proposée est que cette affection serait également présente dans d'autres régions. Les conséquences au niveau cognitif seraient une hyper-sensibilité, hyper-perception, hyper-attention, hyper-mémoire, hyper-peur et hyper-émotivité. Les auteurs proposent que cette affection conduirait au syndrome d'un monde intense, fragmenté, et aversif pour l'enfant autiste, ceci pouvant expliquer un spectre d'anormalités comportementales.

2. Modèles cognitifs dans l'autisme

Au vu d'un profil comportemental particulier et d'une absence de facteur étiologique clair, un grand nombre de recherches s'est focalisé sur l'aspect cognitif de l'autisme. Quatre grandes théories ont été développées : la théorie de l'esprit, le dysfonctionnement des fonctions exécutives, la faiblesse de cohérence centrale et le surfonctionnement des traitements perceptifs. Le terme de théorie de l'esprit a été introduit pour décrire la capacité d'attribuer un état mental à soi et aux autres (Premack & Woodruff, 1978). Ceci englobe la capacité à faire des inférences correctes sur les sentiments, les croyances, les désirs, les connaissances d'autres personnes et donc à comprendre et prédire leurs actions. La possession de la théorie de l'esprit permet ainsi un comportement social cohérent. Il a alors été proposé qu'un déficit à « lire l'esprit des autres » (voir Figure 3) caractérise les personnes autistes, ceci pouvant expliquer les déficits de communications verbales et non verbales dans l'autisme (Baron-Cohen, Leslie, &

Frith, 1985). La seconde théorie concerne les fonctions exécutives, terme qui décrit les traitements dirigés vers un but, contrôlés par les lobes frontaux. Les fonctions exécutives comprendraient l'attention, la flexibilité, la génération, l'inhibition de réponses et la mémoire de travail. Un dysfonctionnement des fonctions exécutives, causé par un dysfonctionnement neuro-anatomique pourrait expliquer les difficultés d'exécution de certaines fonctions cognitives de haut niveau observées dans l'autisme (Bennetto, Pennington, & Rogers, 1996 ; Ozonoff, Pennington, & Rogers, 1991). Ce dysfonctionnement expliquerait les problèmes attentionnels (Ozonoff, Strayer, McMahon, & Filloux, 1994) et par conséquent les intérêts restreints et stéréotypés observés dans l'autisme. Ces théories, le déficit de la théorie de l'esprit et celle du dysfonctionnement des fonctions exécutives, permettent d'expliquer le comportement social atypique des personnes autistes. Pourtant aucune de ces théories ne fait état des capacités cognitives atypiques des personnes autistes.

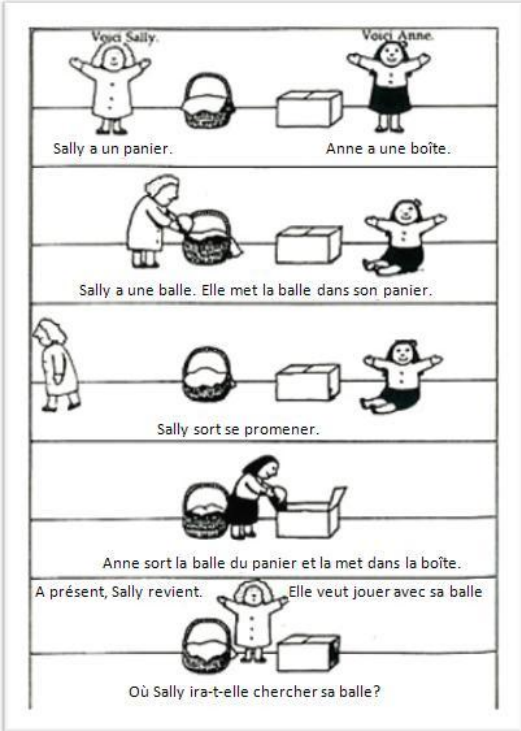


Figure 3. Exemple d'histoires utilisées pour tester la présence de la théorie de l'esprit chez des enfants (repris de Frith, 1996). Ici, la réponse typiquement donnée par une personne autiste à la question « où Sally ira-t-elle chercher sa balle ? », serait « dans la boîte ». En effet, selon l'hypothèse d'un déficit de la théorie de l'esprit, elle n'arriverait pas à percevoir que, Sally étant sortie, elle ne peut pas savoir qu'Anne a changé sa balle de place.

2.1. Habiletés cognitives des personnes autistes

Un profil atypique des performances lors des tests de QI, mesuré généralement avec l'échelle d'intelligence de Wechsler destinée aux adultes (WAIS) et aux enfants (WISC), est observé chez les personnes avec un TSA. Elles sont souvent en difficulté dans les épreuves mettant en jeu des compétences verbales comme le sous-test de vocabulaire (donner la définition d'un mot) ou bien le sous-test de similitudes (dire en quoi deux mots se ressemblent). En revanche, ces mêmes personnes présentent généralement un pic d'habileté au sous-test des cubes, qui consiste à reproduire un dessin avec des cubes rouges et blancs (voir Figure 4A)[4] (Caron, Mottron, Berthiaume, & Dawson, 2006 ; Shah & Frith, 1983, 1993 ; Siegel, Minshew, & Goldstein, 1996) ou encore l'épreuve des

[4] Cette dissociation entre le QI verbal et le QI performance, ainsi que le pic d'habileté au sous-test des cubes est particulier aux personnes autistes (Dawson et al., 2007 , Caron et al., 2006). Les personnes Asperger présentent la dissociation inverse avec un QI verbal plus élevé que le QI performance.

matrices progressives de Raven (1998) ; test d'intelligence fluide qui consiste à compléter une suite logique visuelle en choisissant un pattern parmi ceux proposés (voir Figure 4B) (Bartak, Rutter, & Cox, 1975 ; Dawson, et al., 2007 ; Morsanyi & Holyoak, 2010). De même, Shah & Frith (1983) ont observé que les enfants autistes avec un retard mental réussissent mieux le test des figures emboitées (Witkin, Oltman, Raskin, & Karp, 1971), consistant à retrouver une forme géométrique simple dans une forme plus complexe (voir Figure 4C), que des enfants typiques appariés sur l'âge chronologique et l'âge mental. Ces résultats ont depuis été largement discutés, certaines études répliquant ces résultats que ce soit au niveau des bonnes réponses ou des temps de réactions (Edgin & Pennington, 2005 ; Grinter, Maybery, Pellicano, Badcock, & Badcock, 2010 ; Jarrold, Gilchrist, & Bender, 2005 ; Jolliffe & Baron-Cohen, 1997 ; Ropar & Mitchell, 2001) et d'autres non (Bölte, Holtmann, Poustka, Scheurich, & Schmidt, 2007 ; F. Chen, Lemonnier, Lazartigues, & Planche, 2008 ; Kaland, Callesen, Møller-Nielsen, Mortensen, & Smith, 2008 ; Ozonoff, et al., 1991 ; White & Saldaña, 2011). La disparité de ces résultats semble principalement résulter de différences méthodologiques (White & Saldaña, 2011). Un point commun à l'épreuve des cubes et au test des figures emboitées est qu'il est nécessaire, pour les réussir, de se décentrer de la forme globale pour ne se focaliser que sur les différents éléments qui la constituent. La théorie de la faiblesse de cohérence centrale et la théorie du sur-fonctionnement perceptif ont avancé certaines hypothèses pour expliquer ces profils cognitifs particuliers.

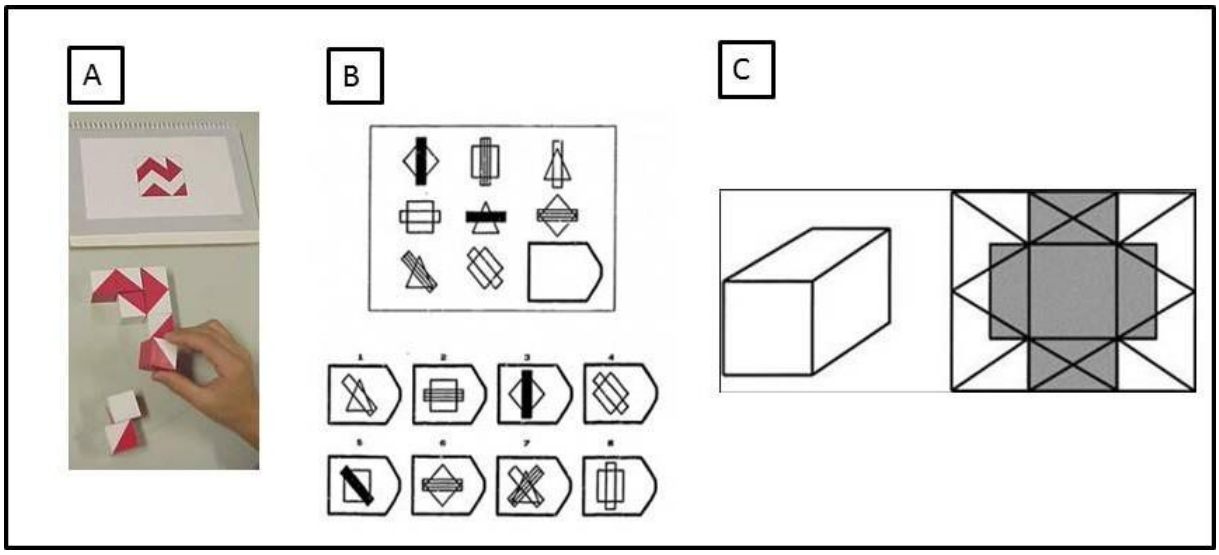


Figure 4. Exemple d'items pour A) le sous test des cubes du Wechsler, B) Test des matrices progressives de Raven, C) Test des figures emboitées.

2.2. La faiblesse de cohérence centrale

Pour expliquer le fonctionnement cognitif des personnes autistes, Frith développa dans son livre « L'énigme de l'autisme » (1989), la théorie de la faiblesse de cohérence centrale (*Weak Central Coherence Theory* : WCC). Cette théorie tire son nom de la tendance qui est généralement observée dans la population typique à traiter l'information de façon globale, parfois au dépend de l'information locale. Cette tendance est appelée la cohérence centrale. Selon Frith, les personnes autistes ne percevraient pas la cohérence entre les différents éléments d'une forme, ce qui les amènerait à se focaliser sur les éléments individuels au détriment de la forme générale. Ils n'arriveraient tout simplement pas à lier les éléments entre eux pour former un tout cohérent. Du fait de ce déficit d'intégration des informations au niveau global, les personnes autistes auraient un mode de traitement plus analytique que global. De plus, toujours selon cette théorie, les personnes autistes, par leur faiblesse de cohérence centrale, posséderaient un style cognitif (une façon particulière de traiter l'information) que l'on retrouverait cependant dans la population générale. Les personnes autistes se situeraient à l'extrémité d'un continuum allant d'une faible à une forte cohérence centrale. Par conséquent, dans la population générale, les personnes se situant à l'extrémité de ce continuum auraient une prédisposition à

devenir autistes si elles souffrent par ailleurs d'un déficit de la théorie de l'esprit (Happé, 1999). Même si un traitement plus local et de mauvaises capacités de planification ne semblent pas être liés chez les personnes autistes (Booth, Charlton, Hughes, & Happé, 2003), au niveau théorique la notion de cohérence centrale peut être aussi comprise comme un processus de haut niveau, une sorte de « chef exécutif » dont le déficit entrainerait un dysfonctionnement des processus descendants, c'est-à-dire des processus guidés par la connaissance (Happé & Frith, 2006). Ces auteurs soulignent tout de même que la cohérence peut être une propriété autant des processus de bas que de haut niveau. En effet, un déficit de cohérence centrale peut autant s'observer pour un traitement de bas niveau (i.e., intégration perceptive) ou bien à un plus haut niveau (i.e., lien sémantique).

La théorie WCC induit donc deux prédictions : 1) les personnes autistes seraient meilleures pour traiter l'information au niveau local et 2) les personnes autistes seraient déficitaires pour traiter l'information au niveau global. Un certain nombre d'études ont rapporté des résultats à l'appui de ces deux prédictions. Ainsi la supériorité de performance des personnes autistes à la tâche des figures emboîtées (Shah & Frith, 1983) ou au sous test des cubes (Shah & Frith, 1993) indiquent une plus grande capacité à traiter l'information locale. De plus, les personnes autistes sont par exemple moins sensibles aux illusions perceptives que les personnes contrôles (Happé, 1996). Ces études confirment donc un traitement supérieur de l'information locale dans l'autisme. A l'inverse, les personnes autistes ont plus de difficultés à rappeler des mots d'une liste quand ils sont sémantiquement liés que non reliés comparativement à des personnes contrôles (Tager-Flusberg, 1991). En outre, ils tireraient un moins grand avantage que les personnes contrôles d'une présentation canonique de points (présentation de points comme sur un dé) pour les compter (Jarrold & Russell, 1997). Ces résultats indiquent donc une difficulté à intégrer les informations au niveau global. Pourtant, de nombreux résultats indiquent que les personnes autistes sont aussi capables de traiter les informations à un niveau global (Mottron, Belleville, & Menard, 1999) ou bien de succomber à des illusions perceptives (Ropar & Mitchell, 1999, 2001). En passant en revue toutes les études

questionnant ce biais local et ce déficit global, Happé et Frith (2006) ont été amenées à considérer ces résultats conflictuels et à revoir les fondements de leur théorie. Elles proposent alors que l'accent soit plutôt mis sur un traitement local supérieur qu'un déficit global dans l'autisme. Les personnes autistes seraient donc capables de traiter l'information globale lorsque la tâche le demanderait explicitement mais possèderaient un biais de traitement envers l'information locale par défaut. Pourtant, récemment, un déficit du traitement global dans l'autisme a été de nouveau évoqué (Happé & Booth, 2008). En effet, les paradigmes utilisés dans la littérature ne permettent pas toujours de distinguer l'implication des traitements global et local dans ces tâches. Par conséquent, une supériorité du traitement local pourrait masquer un déficit d'intégration de l'information globale (Happé & Booth, 2008). En conclusion, le débat autour d'un déficit global dans les TSA est toujours d'actualité et la question de ce déficit encore discutée dans la littérature (Booth & Happé, 2010 ; Grinter, et al., 2010).

2.3. Une supériorité perceptive : le modèle EPF

Une autre théorie, celle du surfonctionnement du traitement perceptif (Enhanced Perceptual Functionning : EPF; Mottron & Burack, 2001 ; Mottron, Dawson, Soulieres, Hubert, & Burack, 2006) a aussi été proposée pour expliquer le profil cognitif particulier des personnes autistes. Ces auteurs postulent aussi une supériorité du traitement local chez les personnes autistes, mais plutôt qu'une difficulté à intégrer les éléments en un tout cohérent, la cause serait beaucoup plus perceptive. La théorie EPF est née de l'étude de cas d'une personne autiste (E.C.) présentant un syndrome savant (Mottron & Belleville, 1993). E.C. a la capacité exceptionnelle de dessiner en 3D des objets inanimés. A travers une série de tâches visant à explorer sa capacité à percevoir et à reproduire des figures parfois impossibles, les auteurs concluent que ce biais envers le traitement local dans l'autisme est dû à un déficit de hiérarchisation. En effet, cette personne ne semble pas montrer de « précédence globale » dans sa façon de traiter et reproduire les formes visuelles. Autrement dit, il ne perçoit pas la forme globale avant la forme locale comme les personnes typiques et ne

commence pas par la forme générale pour reproduire un dessin. Néanmoins, l'observation d'un effet de précédence globale dans des études de groupe de personnes autistes (Mottron, Belleville, et al., 1999 ; Ozonoff, et al., 1994) n'allant pas dans le sens de cette hypothèse ; l'idée d'un traitement perceptif supérieur a alors été proposée. Reprenant l'idée d'une implication supérieure de la perception dans la cognition autistique (Plaisted, O'Riordan, & Baron-Cohen, 1998), Mottron et al. (2006) proposent que cette supériorité perceptive soit à l'origine de la supériorité du traitement local. Par ailleurs, Mottron et ses collaborateurs supposent également qu'un style cognitif puisse être propre à l'autisme mais contrairement à la conception d'Happé (1999), ce style cognitif ne serait pas l'extrémité d'un continuum mais plutôt le reflet d'une organisation cérébrale distincte.

Lors du développement de ce modèle, Mottron et al. (2006) proposent huit principes généraux caractérisant la perception autistique allant du plus consensuel au plus spéculatif, accompagnés d'évidences empiriques. A travers ces huit principes, Mottron et ses collaborateurs mettent en avant l'importance de la perception dans la cognition autistique et de l'intégrité du traitement global. Ainsi, ils proposent que si les personnes autistes ont une perception par défaut plus locale que celle de la population typique, elles peuvent aussi traiter l'information globale lorsque la tâche le demande. C'est ce qu'a démontré l'étude de Caron et al. (2006) avec une tâche visuo-spatiale, reprenant le principe du test des cubes du Wechsler. Dans cette étude, les auteurs proposent tout d'abord une version modifiée des cubes du Weschler dans laquelle ils manipulent la cohérence perceptive et le nombre de cubes (voir Figure 5A). Ils observent que lorsque la cohérence perceptive est forte (i.e., quand l'information globale est en conflit avec l'information locale) et que l'image est non segmentée, les personnes autistes réussissent mieux la tâche que le groupe contrôle. De plus, pour tester la construction de la représentation globale, processus supposé déficitaire dans l'autisme selon la théorie WCC, ces auteurs ont manipulé la capacité à extraire la forme globale des cubes (voir Figure 5B). Ils observent que lorsque l'utilisation d'une stratégie globale est avantageuse pour réussir la tâche, les personnes autistes réussissent mieux la tâche que les sujets contrôles. Les auteurs

proposent donc que les performances des personnes autistes à cette tâche aient une origine plus perceptive, ces mêmes participants présentant une supériorité dans cinq autres tâches visuelles. La même conclusion a été avancée avec la tâche des figures emboitées (voir Figure 4C, p.17).

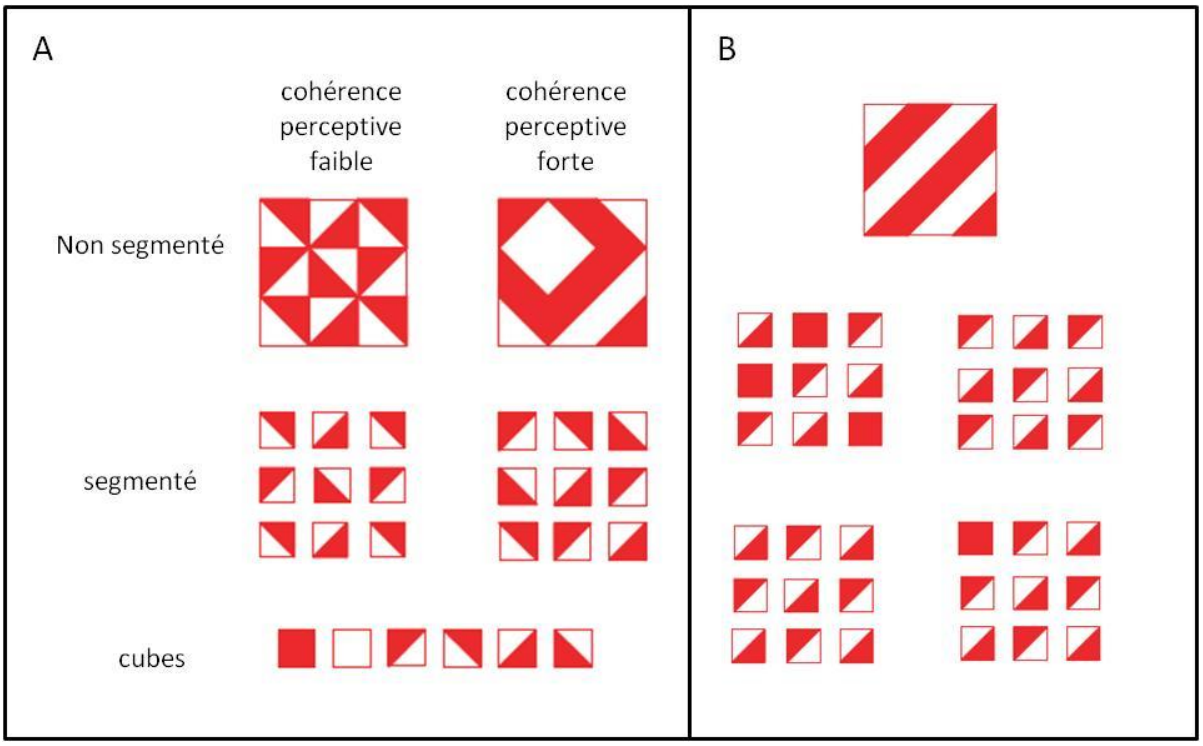


Figure 5. Stimuli utilisés dans la tâche de Caron et al. (2006). A) Stimuli manipulant la force de cohérence perceptive, présentés soit de façon segmenté soit non segmenté. La tâche est de reproduire le dessin avec les six cubes. B) Stimuli utilisés pour tester la construction de la représentation globale. La tâche est de déterminer le plus rapidement possible laquelle des quatre figures segmentées correspond à la figure non segmentée (tiré de Caron et al., 2006).

Plusieurs études ont cherché à comprendre les mécanismes sous-tendant les performances des personnes autistes à la tâche des figures emboîtées. Les résultats de ces études suggèrent que les mécanismes ne semblent pas être les mêmes chez les personnes autistes et typiques. Par exemple, les résultats d'une étude comportementale sur 18 enfants autistes et contrôles appariés sur les performances aux matrices de Raven indiquent que les deux groupes utiliseraient des stratégies différentes pour réaliser la tâche (Jarrold, et al., 2005). Ainsi, ils observent que les performances des enfants autistes sur cette tâche sont corrélées à celles d'une tâche de recherche visuelle. Cette corrélation n'est vraie que

lorsque la tâche requiert de retrouver une cible sur la base de caractéristiques visuelles simples mais pas sur la base de conjonction de ces caractéristiques. De façon surprenante, la relation inverse est observée chez les enfants contrôles, leurs performances sont corrélées à celles d'une tâche de recherche visuelle mais uniquement sur la base de conjonction de plusieurs caractéristiques. De plus, les résultats d'une étude en oculométrie indiquent que les temps de fixations des participants autistes sont plus courts pendant cette tâche que chez les contrôles (Keehn et al., 2009). Tandis que cette tâche semble recruter au niveau cérébral un réseau fronto-pariétal bilatéral chez les personnes typiques (Walter & Dassonville, 2011) ; les enfants autistes recruteraient un circuit neuronal moins large et semblent donc plus parcimonieux dans la réalisation de la tâche (Lee et al., 2007). Plusieurs études indiquent que lors de la réalisation de cette tâche, les aires dédiées au traitement visuo-spatial sont plus activées chez les personnes autistes que chez les personnes contrôles (Manjaly et al., 2007 ; Ring et al., 1999) suggérant ainsi une plus grande implication de la composante perceptive chez les personnes autistes. Ce résultat a également été observé en termes de connectivité cérébrale (Damarla et al., 2010). Ainsi, ces résultats comportementaux et en imagerie indiquent que les performances des personnes autistes à la tâche de figures emboitées auraient une origine plus perceptive que chez les personnes typiques.

Mottron et ses collaborateurs (2006) proposent également que si les personnes autistes sont moins sensibles à l'information globale, c'est que la construction de leurs percepts est moins dépendante des processus descendants. La perception est le résultat de deux types de processus, les processus dits ascendants qui sont dirigés par les caractéristiques perceptives de l'objet et les processus dits descendants qui sont dirigés par la connaissance que l'on a de l'objet. Un moyen d'observer l'impact de ces deux processus sur la perception est d'explorer la formation des catégories perceptives. En effet, la catégorisation s'opère quand nous arrivons à établir une différence qualitative entre des stimuli perceptifs (par exemple à partir de quel moment nous distinguons la syllabe /ba/ de la syllabe /da/). Certains auteurs ont montré, à partir d'un continuum d'ellipses (voir Figure 6), que les personnes autistes catégorisent de la même façon

que les personnes typiques, mais elles ne montrent pas de facilitation de discrimination à la frontière catégorielle (Soulières, Mottron, Saumier, & Larochelle, 2007). En effet, lorsque nous catégorisons deux objets comme différents, il est plus facile de discriminer les objets entre les catégories qu'à l'intérieur d'une catégorie. La catégorisation des personnes autistes est donc moins influencée par les processus descendants que chez les personnes typiques. Les personnes autistes ont ainsi les mêmes représentations catégorielles que les personnes typiques mais la construction de ces catégories se ferait de façon atypique, peut-être de façon moins automatique (Soulières, Mottron, Giguere, & Larochelle, 2010). Il est donc possible que le percept final des personnes autistes soit essentiellement le produit de processus ascendants avec une moindre influence des processus descendants. D'autres études ont également souligné la moins grande implication des processus descendants dans l'autisme (Gomot & Wicker, 2011 ; Loth, Carlos Gómez, & Happé, 2008 ; Loth, Gómez, & Happé, 2010a, 2010b ; Mitchell, Mottron, Soulières, & Ropar, 2010 ; Ropar & Mitchell, 2002).

Figure 6. Stimuli utilisés dans l'étude de catégorisation Soulières et al. (2007), la tâche étant de comparer un stimulus avec celui adjacent, le stimulus 1 et le 2, le stimulus 2 et 3 (tiré de Soulières et al., 2007).

En résumé, même si les théories WCC et EPF se basent sur l'idée d'un traitement local supérieur dans l'autisme, elles diffèrent sur l'origine supposée de ce biais local. La théorie WCC propose que cette supériorité serait due à un traitement de l'information globale déficitaire pouvant conduire à des processus descendants défectueux. LA THÉORIE EPF propose, quant à elle, que cette supériorité serait due à des traitements perceptifs supérieurs amenant à une plus grande indépendance des processus ascendants par rapport aux processus descendants. Pour départager ces deux modèles, de nombreuses études ont été

conduites afin d'évaluer l'intégrité des traitements global et local chez les personnes autistes dans les modalités visuelle et auditive. Avant de présenter ces différentes études (au Chapitre 3) nous allons tout d'abord présenter les concepts des traitements global et local en vision et en audition.

Chapitre 2. Concepts des traitements global et local

Dans ce chapitre, nous aborderons tout d'abord les principes de groupement perceptif, puis nous décrirons les concepts de traitement global et local en vision et audition. Nous exposerons les études ayant mis en évidence ces traitements dans la population adulte mais aussi leur développement chez l'enfant. Enfin nous soulèverons les critiques concernant les principes généraux sous-tendant ces mêmes traitements en audition et en vision.

1. Principes de groupement perceptif

La facilité avec laquelle nous arrivons à percevoir de manière organisée notre environnement suggère que nous avons la capacité d'organiser les éléments de notre environnement de façon extrêmement efficace. Cette capacité a été particulièrement étudiée dans les années 1920 par la psychologie de la forme, ou psychologie de la Gestalt. Selon ce courant de pensée, la notion d'organisation reflète le fait que, « *l'expérience visuelle est intrinsèquement structurée par la nature du stimulus lorsque ce dernier est en interaction avec le système nerveux visuel* » (Palmer, 1999, p.56). Cette définition indique que l'organisation perceptive est dépendante non seulement de la nature du stimulus mais aussi de notre façon de percevoir (Spillmann & Dresp, 1995). Cette théorie a démontré que cette capacité d'organisation perceptive repose sur un certain nombre de lois qui définissent le résultat de notre perception (voir Figure 7).

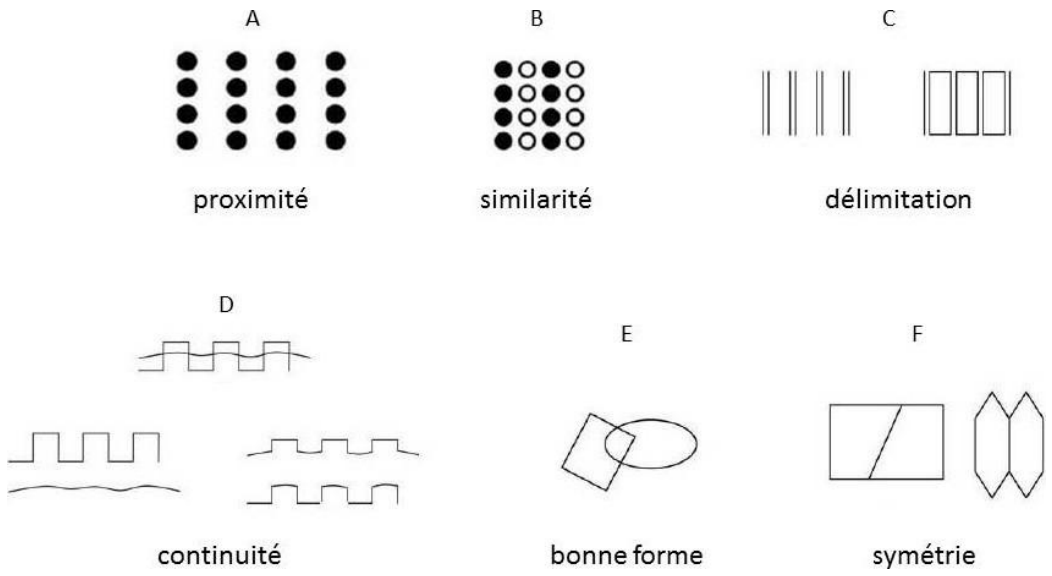


Figure 7. Figures illustrant les principales lois de l'organisation perceptive de la Gestalt. A - loi de la proximité : les éléments très proches sont perçus comme appartenant à la même forme. B - loi de la similarité : les éléments semblables ont tendance à se regrouper. C- loi de délimitation : les lignes délimitant une surface seront, toutes choses égales par ailleurs, plus facilement ressenties comme totalité que celles qui ne se joignent pas. D -loi de continuité : des éléments orientés dans la même direction tendent à s'organiser en une forme. Ainsi la figure est interprétée comme résultant de la superposition des deux éléments de la figure en bas à gauche que ceux de la figure en bas à droite. E - loi de bonne forme, ou de continuité : les parties d'une figure qui constituent une bonne forme (simplicité d'une figure) constituent plus facilement des unités. Ainsi nous percevons la figure composée d'un rectangle et d'une ellipse. Ces formes donnent une impression d'unité qu'elles n'auraient pas si nous percevions 3 figures. F - La loi de symétrie : les formes qui présentent un axe de symétrie sont de bonnes formes, qui vont s'imposer aisément. Même si les deux figures présentent une ligne médiane, la figure de gauche est perçue comme une seule forme et celle de droite comme deux formes distinctes.

Cette capacité d'organisation perceptive a été largement étudiée en vision, mais ces principes sont applicables à toutes les modalités. En effet, plusieurs études ont démontré que les principes d'organisation perceptive s'appliquaient aussi dans les modalités auditive (Bregman, 1990), haptique et olfactive (pour une revue voir Gallace & Spence, 2011). Cependant, c'est dans la modalité auditive que ces principes ont été le plus étudiés et développés via les travaux de Bregman (1990). L'organisation perceptive auditive se réaliserait via l'analyse de scène auditive. Cette analyse décrit la capacité à regrouper ou à séparer les sons venant de deux sources différentes et d'intégrer celles qui vont ensemble à un instant donné mais aussi dans le temps (comme par exemple pouvoir suivre une conversation dans un milieu bruyant). Cette capacité permet donc d'intégrer les informations sonores venant d'une même source cohérente et par conséquent de créer un flux auditif. Le mécanisme d'analyse de scène auditive repose sur la

notion d'objet sonore qui peut être défini, de façon équivalente à celle d'un objet visuel (Kubovy & Valkenburg, 2001). L'analyse de scène auditive répond aux mêmes principes Gestaltistes qu'en vision, puisque par exemple, deux sons temporellement proches seront considérés comme faisant davantage partie du même flux que deux sons temporellement plus éloignés.

Comme en vision, des processus ascendants et descendants interagissent lors de la formation du percept. En audition, ils sont décrits sous le terme d*'analyse primaire* et d*'analyse guidée par les schémas* (Bregman, 1990). L'analyse primaire est un mécanisme ascendant qui permet de partitionner l'entrée sensorielle. Quand le flux sonore provenant de plusieurs sources atteint nos oreilles, il est décomposé en différentes entités perceptives appelées « flux sonores ». Pour construire ces flux, le système auditif utilise différents indices acoustiques comme l'asynchronie entre les sources, le changement au cours du temps des propriétés sonores de ces sources (Bregman, 1990, Chapitre 2). Le second processus est l'analyse sonore guidée par les schémas. C'est un processus de sélection et par conséquent descendant. Cette analyse serait le résultat d'un processus de correspondance entre les connaissances déjà stockées en mémoire et le flux sonore entrant.

Lorsque nous percevons un objet visuel ou bien sonore, notre percept final est organisé en une forme globale composée d'éléments. Selon les lois de la Gestalt, que ce soit en vision et en audition, le percept final « global », semble déterminer la perception des parties : « Une forme est autre chose ou quelque chose de plus que la somme de ses parties. Elle a des propriétés qui ne résultent pas de la simple addition des propriétés de ses éléments » (in. Guillaume, 1979). Le « tout » serait donc supérieur à la somme des parties. Mais quelle information percevons-nous en premier, la forme globale (le tout) ou bien les éléments locaux (les parties) ?

2. Le traitement global et local visuel

2.1. Définition et concepts du traitement global et local

Pour répondre à cette question David Navon (1977) a utilisé des formes hiérarchisées, c'est-à-dire une forme globale définie par l'arrangement spatial d'éléments locaux, dont l'identification de chacun des niveaux s'effectue de manière indépendante. Les éléments locaux et la forme globale peuvent être congruents ou non congruents (i.e., un grand S composé de petits « s » ou de petits « h », voir Figure 8). Les résultats de Navon indiquent que les participants sont plus rapides pour identifier la forme globale que les éléments locaux et qu'ils sont gênés pour identifier la forme globale quand les éléments locaux sont non-congruents. Ces résultats illustrent l' « Effet de Précédence Globale » (EPG) qui conduit à deux conclusions : l'information globale est disponible avant l'information locale et le traitement global est automatique, nous ne pouvons pas l'empêcher même si nous concentrons notre attention spécifiquement sur le niveau local. Même si c'est un effet robuste, l'EPG peut être modulé voire même inversé par les choix méthodologiques (pour une revue voir Kimchi, 1992). Par exemple, l'angle visuel de la forme globale et des éléments locaux, le faible nombre d'éléments locaux, le temps de présentation, l'attention focalisée sur un certain niveau, l'incertitude spatiale d'apparition du stimulus (Lamb & Robertson, 1988) sont connus pour affecter l'EPG voire même créer un « effet de précédence locale ». Certains auteurs supposent que l'EPG serait sous-tendu par deux processus distincts : sensoriel et cognitif. En utilisant des stimuli hiérarchisés composés de non objets, Poirel et al. (2008) observent toujours un avantage du traitement global mais aucun effet d'interférence globale sur l'information locale, alors que cet effet est observé avec des objets dans la même expérience. Les auteurs concluent donc que l'EPG implique des processus « sensoriels» responsables de l'avantage du traitement global sur le traitement local et des processus « cognitifs » responsables de l'effet d'interférence.

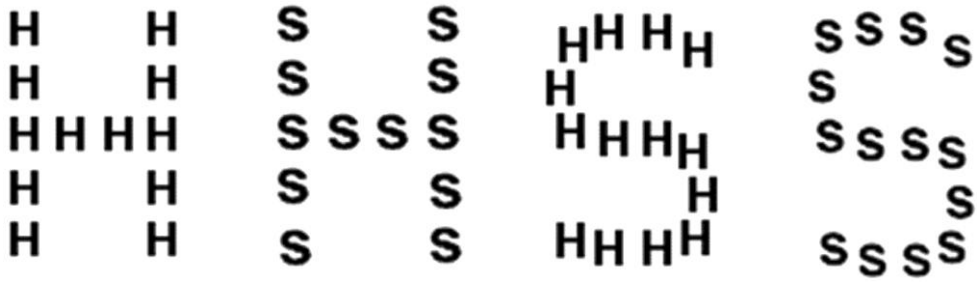


Figure 8. Exemple de lettres hiérarchisées utilisées par Navon (1977).

Pour expliquer l'EPG, un traitement parallèle des informations globales et locales, mais où le traitement global se terminerait en premier, a été proposé (Navon, 1981). Cette conception d'un chevauchement au niveau temporel entre ces deux processus va dans le sens d'un modèle plus général du fonctionnement du système visuel, le modèle par itération. Selon ce modèle, l'information globale est réinjectée dans le système visuel par des processus descendants (Bullier, 2001). Ce modèle par itération est conforté par des résultats en neuro-imagerie et en EEG (Beaucousin et al., 2011 ; Peyrin et al., 2010). L'EPG pourrait être dû à une intégration « coarse to fine » (littéralement une intégration de l'information floue, « grossière » puis des détails) des informations globales et locales déterminées par les fréquences spatiales (Hubner, 1997 ; Hughes, Nozawa, & Kitterle, 1996). Les basses fréquences spatiales, qui véhiculent l'information globale, sont traitées par la voie visuelle dorsale, alors que les hautes fréquences spatiales, qui transmettent l'information locale, sont traitées par la voie visuelle ventrale (Badcock, Whitworth, Badcock, & Lovegrove, 1990). Puisque la voie visuelle dorsale est plus rapide que la ventrale, l'information globale est disponible plus rapidement que l'information locale. Cette première analyse des basses fréquences spatiales sert à affiner l'analyse suivante des hautes fréquences spatiales transmises par les canaux parvocellulaires de la voie ventrale (Peyrin et al., 2010).

Au-delà de cette explication neuro-anatomique de l'EPG, il est important de noter qu'il existe également une spécialisation hémisphérique des traitements global et local. En effet, l'étude de patients cérébrolésés indique un déficit dans le traitement de l'information locale chez les patients cérébrolésés gauches, alors

que les patients cérébrolésés droits sont plus gênés dans le traitement des formes globales (Lamb, Robertson, & Knight, 1990). De plus, les études en neuro-imagerie de participants sains montrent que l'hémisphère droit est plus activé pendant un traitement de l'information globale alors que l'hémisphère gauche est plus activé pendant un traitement de l'information locale (Fink et al., 1996). Plus récemment, des recherches ont montré que les fréquences visuelles spatiales (Hubner, 1997) sont différemment traitées par chaque hémisphère. Les basses fréquences spatiales (véhiculant l'information globale) sont principalement traitées par l'hémisphère droit alors que les hautes fréquences spatiales (donnant l'information locale), sont principalement traitées par l'hémisphère gauche (Peyrin, Chauvin, Chokron, & Marendaz, 2003). Par conséquent, les éléments visuels globaux et locaux sont respectivement traités par l'hémisphère gauche et droit, par l'intermédiaire d'une spécialisation hémisphérique pour le traitement des fréquences spatiales.

2.2. Le traitement visuel global-local chez l'enfant

Une autre façon d'aborder la question des traitements global et local est d'en étudier le développement. Les enfants développent-ils d'abord le traitement global pour ensuite développer le traitement local ou bien traitent-ils d'abord les éléments de façon analytique ? La littérature à ce sujet est assez contradictoire. Pour étudier la question chez les enfants en bas âge, un paradigme d'habituation (réaction à la nouveauté) est généralement utilisé. Les enfants sont habitués à un certain stimulus puis un autre stimulus est présenté, modifié soit au niveau global soit au niveau local. Traditionnellement, les temps de fixation sont plus longs pour les stimuli nouveaux, traduisant une préférence pour la nouveauté. Avec cette technique, il est observé que les nouveaux nés sont capables de discriminer des éléments d'un stimulus et d'organiser ces éléments en un percept global en les groupant sur la base de la loi de similarité (Farroni, Valenza, Simion, & Umilt, 2000), et que les processus d'organisation perceptive s'acquièrent plus ou moins rapidement dans la 1ère année de vie (Quinn, Bhatt, &

Hayden, 2008). Ainsi les nouveaux nés sont capables de différencier l'information locale et globale. Certaines études indiquent une dominance perceptive de l'information globale sur l'information locale (Cassia, Simion, Milani, & Umiltà, 2002). En effet, les nouveau-nés (environ 2 jours) montrent un effet de précédence globale directement attribuable au traitement des basses fréquences spatiales, répliquant ainsi les résultats observés chez les adultes (Navon, 1977) et chez les enfants de 3-4 mois (Ghim & Eimas, 1988). Mondloch et al. (2003), avec une tâche de discrimination de formes présentées séquentiellement et modifiées soit au niveau global soit au niveau local, observent une préférence pour le niveau global chez des enfants entre 6 et 10 ans. Ces études semblent indiquer que le traitement global serait acquis plus précocement que le traitement local.

Cependant, une préférence envers le traitement local chez les enfants a aussi été mise en évidence. Par exemple, les enfants de 4 à 8 ans reproduisent mieux les éléments locaux que la forme globale lorsque que la forme a une densité faible, c'est à dire lorsque les éléments locaux sont espacés entre eux (Dukette & Stiles, 2001). A l'inverse, lorsque les stimuli ont une densité forte, ils reproduisent aussi bien les deux niveaux. Ces résultats indiquent donc que les enfants ont des difficultés à intégrer les éléments en un tout et que les capacités d'intégration ne commencent à ressembler à celles des adultes qu'à partir de 8 ans. Un avantage du traitement local a aussi été observé chez des enfants de 3 ans (Vinter, Puspitawati, & Witt, 2010). De plus, dans une seconde partie de cette étude, ces auteurs observent un effet de précédence locale chez les enfants de 3 ans dans une tâche de jugement de similarités, lorsque le temps de présentation est court (300 ms). Il est aussi observé, dans une étude en hémichamp divisé, une spécialisation hémisphérique pour le traitement local (hémisphère gauche) chez les bébés de 4 à 10 mois (Deruelle & de Schonen, 1991, 1995). Une étude en IRMf chez des enfants de 7 à 14 ans indique que la spécialisation hémisphérique des traitements global et local se développe avec l'âge (Moses et al., 2002). Poirel et al. (2008) en comparant les résultats d'enfants de 4 groupes d'âges différents (4, 5, 6 et 9 ans), observent une transition de la préférence locale à la préférence globale à 6 ans. Les auteurs interprètent ces résultats comme un changement de stratégie visuo-spatiale. De plus, ce

changement de stratégie serait accompagné d'une perte de matière grise dans les aires visuo-spatiales occipitales et pariétales droites (Poirel et al., 2011).

Kimchi et al. (2005) proposent une explication à ces divergences de résultats. Ces auteurs proposent, en effet, que la capacité d'individualiser les éléments et le groupement d'éléments nombreux soient des processus perceptifs acquis rapidement au cours du développement. Cependant, le groupement de peu d'éléments et l'individualisation de beaucoup d'éléments seraient des processus perceptifs au développement plus long. Il semble donc que l'effet de précédence globale est un effet qui se développe avec l'âge (Harrison & Stiles, 2009) et que les enfants jusqu'à environ 8-10 ans ont un traitement plus analytique que les adultes.

Au-delà de la question du développement de ces traitements global et local, une autre question relative au caractère amodal ou non de ces traitements, a également fait l'objet de plusieurs études (Förster, 2011 ; Ivry & Robertson, 1998). Quelques études ont été menées dans la modalité tactile (Lakatos & Marks, 1999 ; Phillips, Egan, & Perry, 2009) mais l'audition apparait souvent comme étant la modalité privilégiée pour étudier cette question (Dowling, 1978 ; Justus & List, 2005 ; Lassonde et al., 1999).

3. Le traitement global et local musical

Les premiers concepts de traitements global et local en audition sont issus du modèle de Peretz (Peretz & Kolinsky, 1993), voir Figure 9. Selon la conception de Peretz, basée sur l'observation de différents types d'agnosies auditives, le langage, la musique et les sons environnementaux seraient traités par des processus auditifs distincts[5]. Le système de reconnaissance musicale (SRM) est un système complexe composé de deux grands modules : celui de l'organisation

[5] Il est à noter que cette conception est mise en question (notamment la dissociation langage et musique) par une vision plus distribuée du traitement cognitif en général où le traitement auditif partagerait certaines caractéristiques (au niveau des structures cérébrales et des processus impliqués) communes avec le traitement du langage (e.g., Zatorre & Binder, 2000).

mélodique et celui de l'organisation temporelle (Gosselin, Peretz, Clément, & Dalla Bella, 2006). Alors qu'au niveau expérimental, l'indépendance de ces voies de traitement est discutée (e.g., Hannon, Snyder, Eerola, & Krumhansl, 2004), cette dissociation est souvent observée chez des patients cérébrolésés ayant perdu une partie de leurs capacités sur une voie mais ayant des capacités préservées sur l'autre (Ayotte, Peretz, Rousseau, Bard, & Bojanowski, 2000 ; Peretz & Kolinsky, 1993). Dans le cadre de ce travail doctoral et plus particulièrement dans le cadre du traitement global et local en audition, nous allons principalement nous focaliser sur la voie mélodique.

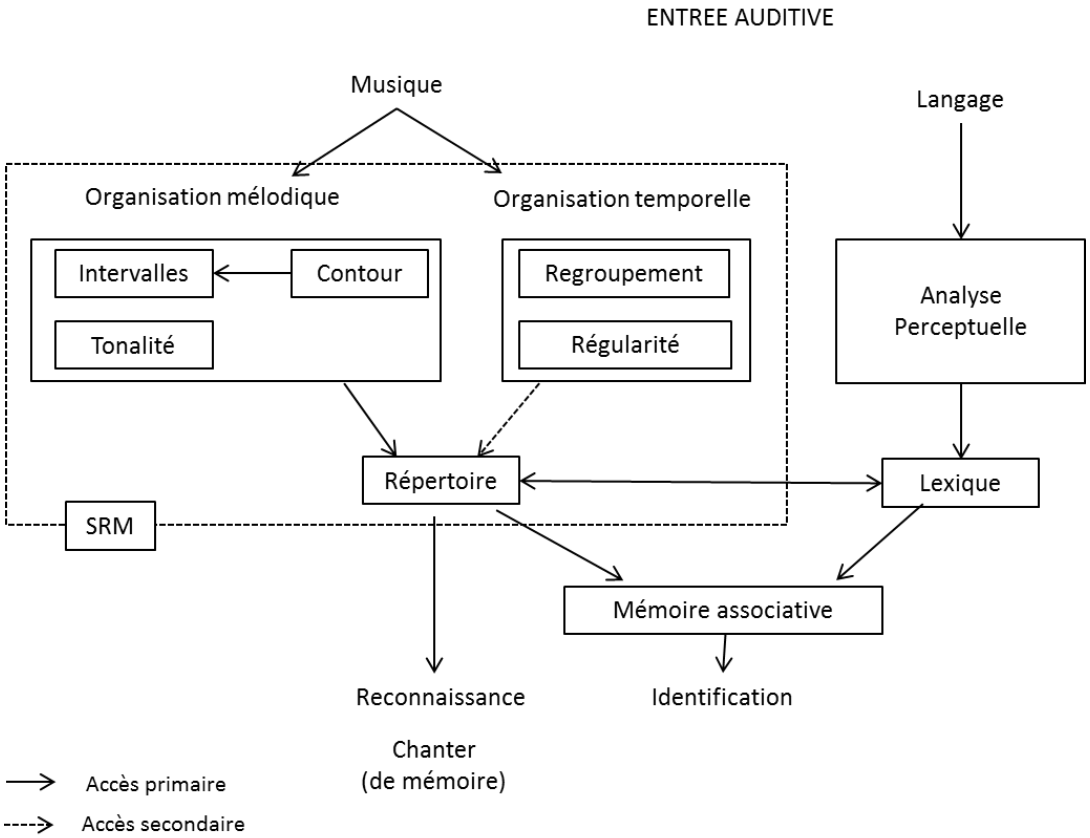


Figure 9. Modèle de système de reconnaissance musicale (SRM) développé par Peretz (2003). Nous pouvons observer que ce modèle propose une vision modulaire du traitement musical, où les traitements auditif verbal et non verbal sont clairement distincts.

3.1. La voie mélodique et le traitement global et local

La question des traitements global et local en musique a tout d'abord été soulevée par l'observation d'une différence au niveau de l'implication

hémisphérique entre les musiciens et les non musiciens pour effectuer une tâche de reconnaissance mélodique en écoute dichotique (Bever & Chiarello, 1974). En effet, les musiciens reconnaissent mieux les mélodies quand elles sont présentées à l'oreille droite (hémisphère gauche), alors que les non musiciens reconnaissent mieux les mélodies quand elles sont présentées à l'oreille gauche (hémisphère droit). Ces résultats ont été interprétés comme la preuve d'une implication plus importante d'un hémisphère pour un traitement particulier. Ainsi, l'hémisphère droit traiterait préférentiellement l'information globale et l'hémisphère gauche l'information locale (Peretz & Morais, 1980) reprenant la dissociation hémisphérique observée pour les stimuli visuels global et local (Lamb, et al., 1990). Les musiciens auraient donc un traitement plus analytique, alors que les non musiciens auraient à l'inverse un traitement plus holistique. Dowling (1978) a démontré que la mémoire du contour d'une mélodie (direction ascendante ou descendante donnée par les notes, voir Figure 10C) peut fonctionner indépendamment de la mémoire de la taille des intervalles entre les notes composant cette mélodie (voir Figure 10B). L'indépendance entre ces deux niveaux et le fait qu'au niveau hiérarchique les intervalles composent le contour d'une mélodie ont conduit à considérer que le traitement du contour d'une mélodie induit un traitement global alors que le traitement d'un intervalle induit un traitement local (Peretz & Morais, 1987). De plus, les non musiciens utiliseraient plus le contour d'une mélodie que ses intervalles pour discriminer les mélodies, appuyant la distinction global et local entre ces deux éléments (Peretz & Morais, 1987).

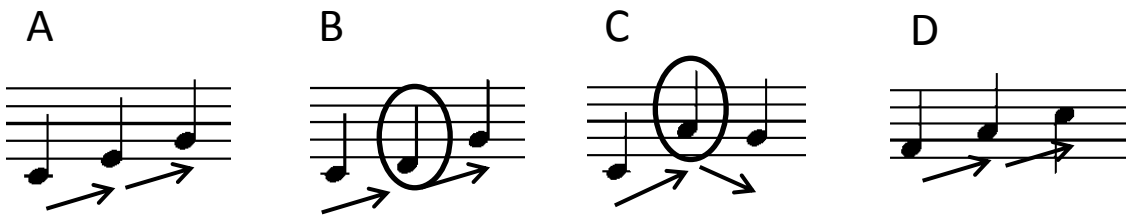


Figure 10. Illustration d'une mélodie (A) modifiée soit au niveau de l'intervalle (B) soit au niveau du contour mélodique (C), soit transposée à la quarte supérieure (D).

L'étude des patients cérébrolésés a confirmé l'implication au niveau hémisphérique des traitements global et local dans le traitement du contour et des intervalles mélodiques (Liegeois-Chauvel, Peretz, Babai, Laguitton, & Chauvel, 1998 ; Peretz, 1990). Peretz (1990) observe que les patients cérébrolésés gauche n'arrivent pas à discriminer des mélodies sur la base de différences d'intervalles alors que les patients cérébrolésés droit n'arrivent pas à discriminer des mélodies ni au niveau du contour ni au niveau des intervalles. Autrement dit, les intervalles d'une mélodie ne peuvent pas être traités si le contour de la mélodie n'a pas pu être traité au préalable. Ces résultats confortent l'idée que le contour et les intervalles sont hiérarchiquement organisés et que la détection d'un changement d'intervalles ou de contour impliquerait plus spécifiquement l'hémisphère gauche ou droit respectivement. L'étude de 65 patients ayant subi une ablation unilatérale du cortex temporal de Liegeois-Chauvel et al. (1998) indique un rôle important du gyrus bilatéral temporal postérieur dans le traitement des intervalles et un rôle important du gyrus temporal postérieur droit dans le traitement du contour. Ces résultats indiquent par conséquent que le traitement des intervalles impliquerait les deux hémisphères alors que le traitement du contour mélodique impliquerait principalement l'hémisphère droit. Des études en imagerie chez les sujets sains non musiciens confirment la dominance de l'hémisphère droit pour le traitement du contour ainsi que son traitement plus automatique par rapport au traitement des intervalles musicaux (Schiavetto, Cortese, & Alain, 1999). Le traitement des intervalles semble aussi être plus dépendant de l'expertise musicale que le traitement du contour (Trainor, Desjardins, & Rockel, 1999). Les résultats d'une étude en MEG n'indiquent pas de différence en termes d'amplitude de la Mismatch Negativity (MMN)[6] entre le traitement du contour et le traitement des intervalles, mais le traitement du contour semble plus rapide comme l'indique l'apparition plus tardive de la MMN lors du traitement des intervalles (Trainor, McDonald, & Alain, 2002).

[6] Cette onde indique généralement une détection automatique d'un changement auditif, indépendante de l'attention volontaire.

Par ailleurs, le modèle SRM de Peretz (1993) propose que la reconnaissance musicale passe non seulement par l'identification des relations entre les notes, mais aussi par la connaissance de leurs valeurs absolues. Par exemple, dans les œuvres musicales classiques, le thème principal est généralement transposé, c'est-à-dire que le même thème est joué mais à une hauteur différente (voir Figure 10D). Si nous nous basions uniquement sur les intervalles et le contour entre les notes pour reconnaitre une mélodie, nous identifierions cette transposition comme une simple répétition du thème. Plusieurs études sur la reconnaissance musicale ont montré que les mélodies sont encodées aussi en termes d'échelles, de hiérarchies tonales et de tonalités (Cuddy & Cohen, 1976 ; Cuddy, Cohen, & Miller, 1979). Ainsi le modèle SRM de Peretz (1993) (voir Figure 9, p.33) suppose que le module de traitement de la tonalité est indépendant de celui du traitement des contours et des intervalles. Cet aspect modulaire de la tonalité a été observé via l'étude d'une personne cérébrolésée présentant un déficit uniquement au niveau du traitement de la tonalité (Peretz, 1993). Le type de traitement impliqué lors de la reconnaissance de mélodies transposées est aussi un traitement global puisque la transposition supprime la valeur absolue des notes tout en maintenant le contour de la mélodie et des intervalles entre les notes. Alors que les personnes non musiciennes ne montrent aucun avantage de l'oreille gauche ni de l'oreille droite lors la reconnaissance par écoute dichotique de mélodies transposées (Peretz, 1987), les patients cérébrolésés droit ont des difficultés à reconnaitre des mélodies transposées (Peretz, 1990). Ainsi, il est généralement convenu que la reconnaissance de mélodies transposées, puisque les relations entre les notes sont maintenues mais que la valeur absolue de ces notes est modifiée, implique un traitement global.

Par conséquent, l'ensemble de ces résultats indique que le traitement du contour et de la tonalité implique un traitement global alors que le traitement des intervalles implique un traitement local. Comme en vision, plusieurs études ont été menées pour savoir quel traitement domine la perception musicale chez les enfants.

3.2. Le développement des traitements global et local musical chez l'enfant

En utilisant des techniques d'habituation et de réaction à la nouveauté, il apparait tout d'abord que les bébés de quelques mois ont des capacités de groupement auditif (Demany, 1982 ; Smith & Trainor, 2011). Les résultats de plusieurs études indiquent également que les bébés de 7 à 11 mois discriminent mieux les mélodies lorsqu'elles sont modifiées au niveau du contour que lorsqu'elles sont modifiées au niveau des intervalles (Trehub, 2001 ; Trehub, Bull, & Thorpe, 1984 ; Trehub, Thorpe, & Morrongiello, 1987). Cette plus grande capacité de discrimination pour le contour plutôt que pour les intervalles semble être liée au fait que le contour est, pour les enfants, la caractéristique la plus saillante dans le langage de leur mère (Fernald & Mazzie, 1991). Ainsi, les enfants semblent d'abord reconnaitre une mélodie sur la base de son contour (information globale) puis de ses intervalles (information locale). Les enfants âgées de 6 à 12 mois sont aussi capables de reconnaitre deux mélodies transposées comme identiques (Plantinga & Trainor, 2005 ; Trainor & Trehub, 1992 ; Trehub, et al., 1984).

Si les enfants sont capables assez rapidement de discriminer les mélodies sur la base du contour ou bien de la transposition avant un an, la question a été soulevée si les enfants ont une préférence pour un type de traitement. Est-ce que les enfants ont un traitement plutôt absolu (i.e., la hauteur de la note) ou plutôt relatif des notes (i.e., le traitement de la note par rapport à une autre note) comparé aux adultes ? Cette question d'un traitement préférentiel est liée à la question du langage puisque certains auteurs considèrent que les enfants auraient un traitement plus absolu des notes et que, lors de l'acquisition du langage, les enfants acquerraient un mode de traitement plus relatif (Saffran, 2003 ; Saffran & Griepentrog, 2001). En effet, un traitement relatif est central pour la compréhension et la production du langage puisque les distances relatives entre les mots et formants (pics d'énergie particuliers aux sons langagiers) portent les informations nécessaires à leur compréhension. Selon Saffran, l'acquisition d'un traitement relatif des notes reflèterait un processus de maturation neuronale dirigé en partie par l'acquisition du langage. L'observation

entre 6 et 13 ans d'une augmentation plus rapide du nombre de fibres dans les régions supportant la fonction langagière que dans les autres régions supporte cette idée (Thompson et al., 2000). Cette supposition est renforcée par l'observation de l'acquisition de l'oreille absolue (i.e., capacité à identifier une note sans note de référence) lors d'une pratique musicale ayant commencée avant 6 ans (Takeuchi & Hulse, 1993). Cependant, certaines études, comme celles présentées au paragraphe précédent, rapportent que les enfants sont rapidement capables de traiter la valeur relative des notes (Plantinga & Trainor, 2005 ; Trehub, 2003). Pour départager cette question, Stalinski & Schellenberg (2010) ont comparé les performances d'adultes et celles de trois tranches d'âges d'enfants (5 à 7 ans, 8 à 9 ans et 10 à 12 ans) sur une tâche consistant à évaluer sur une échelle en cinq points le degré de différence entre deux mélodies. Les mélodies étaient modifiées soit au niveau du contour soit transposées. Les résultats montrent que les enfants les plus jeunes (entre 5 à 7 ans) jugent deux mélodies transposées comme plus différentes que deux mélodies dont l'une est modifiée au niveau du contour. Le pattern inverse est observé chez les adultes. Ces résultats suggèrent que les enfants comme les adultes perçoivent les valeurs absolues et relatives des notes mais que la saillance des valeurs relatives et l'attention portée dessus se développent avec l'âge. Ainsi les adultes sont capables de faire un traitement plus en profondeur d'une mélodie que les enfants (Stalinski & Schellenberg, 2010).

3.3. Questionnement du traitement global et local en audition

L'implication des traitements global et local dans le traitement du contour et des intervalles et leur latéralisation hémisphérique ne font cependant pas l'unanimité. Ainsi, la latéralisation de ces traitements n'est pas toujours observée, ni chez les patients cérébrolésés (Schuppert, Münte, Wieringa, & Altenmüller, 2000), ni chez les sujets sains (Stewart, Overath, Warren, Foxton, & Griffiths, 2008). Dans l'étude de Stewart et al. (2008), il est observé que le traitement du contour active le sulcus temporal supérieur postérieur gauche, alors que le traitement des intervalles active la même région de façon bilatérale.

Même si cette activation est supérieure pour le traitement des intervalles, en accord avec la conception hiérarchique des stimuli contour-intervalle, la latéralisation attendue de ces éléments n'a pas été observée.

Certains auteurs ont même questionné le fondement méthodologique de cette conception des traitements global et local en audition. En effet, même si le contour et les intervalles d'une mélodie forment une structure hiérarchique, ces deux éléments ne peuvent pas être manipulés de façon indépendante (Justus & List, 2005). Si un changement d'intervalle peut être effectué sans modifier le contour de la mélodie, un changement du contour mélodique implique toujours la modification d'un intervalle. Par exemple, dans la Figure 10 (p.34) une mélodie de 3 notes (do-mi-sol) est représentée (A). La note centrale (mi) peut être modifiée sans changer le contour de la mélodie (B). Par contre, lorsque cette note est modifiée dans le but de modifier le contour de la mélodie (C) l'intervalle entre les notes est automatique modifié.

Pour compenser ces problèmes méthodologiques, des études récentes ont développé de nouveaux stimuli hiérarchiques auditifs pour imiter ceux utilisés en vision. Par exemple, Justus & List (2005) se basent sur le principe selon lequel un objet auditif possède deux caractéristiques fondamentales : la fréquence et le temps. Ils utilisent ainsi des stimuli aigus-graves et lents-rapides dans lesquels les deux dimensions (global et local) sont manipulées de façon indépendante. En utilisant une tâche auditive d'attention divisée, ils observent une facilitation de la détection de la cible à un niveau (global ou local) quand le même niveau de traitement est nécessaire pour le prochain essai. Ainsi, ils observent un effet d'amorçage très similaire à celui qui est décrit en vision (Robertson, 1996). Dans une autre étude, une MMN tardive, indiquant une discrimination automatique des propriétés des objets auditifs, a aussi été observée pour les stimuli lents, impliquant un traitement global (List, Justus, Robertson, & Bentin, 2007). Sanders and Poeppel (2007), ont utilisé une tâche d'identification avec des stimuli lents-rapides, la tâche étant d'identifier si les stimuli montent (de grave

vers l'aigu) ou descendent (de l'aigu au grave)[7]. Ils observent également un EPG en audition : l'identification de la forme globale (stimuli lents) entraine des réponses plus rapides et plus correctes que l'identification des éléments locaux (stimuli rapides). De plus, l'identification des éléments locaux est perturbée par la présence d'une forme globale non congruente. Ces paradigmes proposent donc une nouvelle définition des traitements global et local en audition et semblent mieux correspondre aux stimuli visuels global et local de Navon (1977).

Dans ce chapitre, à partir des principes d'organisation perceptive nous avons décrit la façon dont sont définis les éléments globaux et locaux en audition et en vision. Nous avons aussi décrit le développement de ces traitements chez l'enfant, permettant d'éclairer l'acquisition de certains traitements. Nous allons maintenant aborder la question de ces traitements dans l'autisme, dans le cadre des deux théories cognitives (WCC et EPF) décrites au Chapitre 1.

[7] Une rare partie de la population est capable d'identifier la valeur absolue d'une note. Pour cette raison, il n'est pas possible de demander aux participants d'identifier la valeur d'une note, contrairement à la modalité visuelle où l'on demande généralement aux participants d'identifier une forme. En audition, il est donc demandé aux participants d'identifier la valeur relative entre les notes.

Chapitre 3. Traitements global et local dans les troubles du spectre autistique

La théorie de la faiblesse de cohérence centrale (WCC, Happé & Frith, 2006) et la théorie du surfonctionnement perceptif (EPF, 2006) présentées au Chapitre 1 postulent toutes deux que les personnes autistes présenteraient un traitement supérieur de l'information locale. Ces deux théories divergent cependant sur l'origine de ce biais en faveur d'un traitement local. Alors que la théorie WCC suppose un déficit du traitement global dans l'autisme, la théorie EPF suppose un traitement global intact puisque que ce biais local viendrait d'une supériorité des traitements perceptifs. Un certain nombre d'études ont été menées pour identifier l'existence d'un biais local dans la cognition autistique associé ou non à un déficit global. Les traitements local et global dans l'autisme ont été principalement étudiés en vision. Dans un premier temps, nous décrirons ici les principaux résultats de ces recherches. Dans un second temps, nous aborderons la question du traitement global et local musical dans l'autisme. En effet, l'étude du traitement musical a été motivée non seulement au regard des deux principales théories cognitives mais aussi par les capacités musicales souvent supérieures observées chez les personnes autistes (Applebaum, et al., 1979 ; Miller, 1989 ; Sloboda, Hermelin, & O'Connor, 1985) ainsi que plus généralement leur intérêt pour la musique (Heaton, 2009).

1. L'étude du traitement global et local visuel dans l'autisme

Tout d'abord, comme mentionné au Chapitre 2, les traitements global et local découlent des principes de groupement perceptifs définis par la Gestalt. Quelques études ont étudié l'utilisation de ces principes dans l'autisme. Il a été observé que les enfants autistes avec un retard mental sont moins sensibles aux différents principes de la Gestalt (Brosnan, Scott, Fox, & Pye, 2004) que des enfants

contrôles appariés en âge chronologique et en âge mental verbal. Les résultats d'études réalisées sur des enfants et des adultes autistes sans retard mental indiquent une moins grande sensibilité au principe de groupement par similarité (voir Figure 7B, p.26) que des personnes contrôles (Bölte, et al., 2007 ; Falter, Grant, & Davis, 2010). Le principe de groupement par proximité (voir Figure 7A, p.26) semble préservé chez les personnes autistes (Falter, et al., 2010) et elles semblent encore plus sensibles que les personnes contrôles au principe de groupement par symétrique (voir Figure 7F, p.26) (Perreault, Gurnsey, Dawson, Mottron, & Bertone, 2011). Certains auteurs ont souligné que le principe de groupement par similarité serait moins dépendant des processus ascendants que d'autres principes, ce qui pourrait expliquer ces différents résultats (Falter, et al., 2010).

Comme décrit au Chapitre 2 p.28, l'effet classiquement observé avec l'utilisation de stimuli hiérarchisés est un effet de précédence globale (EPG) caractérisé par un avantage du traitement global et une interférence du traitement global sur le traitement local. La question a donc été de savoir si les personnes autistes sont aussi sensibles que les personnes typiques à la forme globale. Les études sont nombreuses et les résultats assez contradictoires (pour une revue voir Simmons et al., 2009). En utilisant la tâche d'identification classique de type Navon (1977), certains auteurs observent un avantage du traitement global chez les adultes et les enfants autistes (Mottron, Burack, Iarocci, Belleville, & Enns, 2003 ; Mottron, Burack, Stauder, & Robaey, 1999 ; Ozonoff, et al., 1994 ; Plaisted, Swettenham, & Rees, 1999, Expérience 1 ; Rinehart, Bradshaw, Moss, Brereton, & Tonge, 2000) alors que d'autres observent un avantage du traitement local (Behrmann et al., 2006). Les résultats de plusieurs études indiquent un phénomène d'interférence atypique du traitement local sur le traitement global (Behrmann, et al., 2006 ; Rinehart, et al., 2000 uniquement pour le groupe autiste), alors que d'autres observent un effet d'interférence classique chez les personnes autistes (Mottron, et al., 2003 ; Mottron, Burack, et al., 1999 ; Ozonoff, et al., 1994). Certaines études ont utilisé des paradigmes d'appariement de formes modifiées soit au niveau global soit au niveau local. Dans ce type de paradigme, il est demandé au participant quelle

forme ressemble le plus à celle qui a été présentée. Il est ainsi observé que les enfants et les adultes avec un TSA montrent la même préférence pour le traitement global que les groupes contrôles pour des stimuli composés de formes hiérarchiques (Deruelle, Rondan, Gepner, & Fagot, 2006 ; Rondan & Deruelle, 2007). Lorsque les stimuli utilisés dans cette étude sont composés au niveau local d'objets de la vie de tous les jours (e.g., des timbres) formant au niveau global une forme géométrique (e.g., une croix), un moins grand nombre de choix global est observé chez les enfants autistes avec un QI situé dans la moyenne basse (QI = 70) (Gross, 2005).

Certains auteurs considèrent qu'une des explications à ces résultats divergents pourrait être de nature attentionnelle. En effet, lorsque les participants ne sont pas informés du niveau d'apparition de la cible (global ou local) les enfants autistes ne présentent pas d'avantage du traitement global (Plaisted, 1999, Expérience 2). Ainsi, il semblerait que le changement attentionnel d'un niveau de traitement à un autre soit problématique pour ces enfants. Cette difficulté de changement attentionnel a également été observée (Rinehart, 2001) mais uniquement pour le passage du niveau local au niveau global. Pourtant, les résultats d'une autre étude indiquent que les adultes autistes ont un plus faible « coût attentionnel » que des adultes contrôles pour réaliser une tâche en attention divisée (Rutherford, 2007). Il faut cependant noter que cette tâche ne faisait pas intervenir les traitements global et local.

Comme mentionné précédemment, l'EPG est sensible à un grand nombre de variations méthodologiques. Wang et al. (2007) ont mené plusieurs études sur le traitement global et local et son éventuel effet d'interférence chez les personnes autistes à travers diverses conditions méthodologiques en manipulant le type de réponse (choix forcé, choix libre), le temps d'exposition et la taille angulaire des stimuli. Ils observent une interférence atypique des éléments locaux sur l'identification des éléments globaux chez les personnes autistes et un avantage du traitement local dans les conditions non congruentes. Ces résultats pourraient indiquer que les personnes autistes n'ont pas de difficultés à traiter l'information globale mais qu'un mode de traitement local « par défaut » est dominant chez

elles. Ces résultats sont corroborés par ceux d'une étude en neuro-imagerie (Liu, Cherkassky, Minshew, & Just, 2011). Dans cette étude, deux tâches sont proposées : une tâche globale d'identification de figures possibles ou impossibles ainsi qu'une tâche locale de comptage de lignes (rouge ou verte) sur des figures possibles ou impossibles. Les auteurs observent que les deux groupes autiste et contrôle ont le même niveau d'activation dans la tâche globale mais que le groupe autiste présente un moindre effet d'interférence du traitement global sur le traitement local. En effet, dans la tâche locale lorsque la détection de lignes se fait sur une figure impossible, une moins grande activation des régions frontales est observée chez les participants autistes. De plus, cette réduction d'effet d'interférence s'accompagne d'une moins grande connectivité entre les régions frontales et les régions postérieures comme observé chez les participants contrôles. Les auteurs concluent donc à une moins grande implication des processus descendants dans la réalisation de cette tâche chez les personnes autistes, ce qui expliquerait donc une moins grande interférence du traitement global sur le traitement local. Le fait que les personnes autistes soient moins sensibles à l'interférence de la forme globale sur la forme locale, et dans l'hypothèse de processus descendants non obligatoires dans l'autisme, appuie la conclusion de Poirel et al. (2008). En effet, ces auteurs postulent l'implication des processus cognitifs dans l'effet d'interférence globale alors que l'avantage du traitement global serait sous-tendu par des processus sensoriels.

On peut cependant remarquer qu'aucune de ces études ne soulève la question de l'âge dans le développement du traitement global et local dans l'autisme. Ceci d'autant plus que l'âge des participants des études présentées précédemment varie entre 7 et 16-20 ans (Mottron, et al., 2003 ; Mottron, Burack, et al., 1999 ; Ozonoff, et al., 1994 ; Plaisted, et al., 1999 ; Rinehart, et al., 2000). Pourtant, comme souligné précédemment, le développement du traitement global et local dans la population générale semble évoluer jusqu'à 12 ans (Dukette & Stiles, 2001 ; Harrison & Stiles, 2009 ; Mondloch, et al., 2003). L'autisme étant un trouble développemental, il semble important de questionner le développement de ces différents processus dans la population autiste (Karmiloff-Smith, 1998).

A notre connaissance, seule l'étude de Scherf et al. (2008) a étudié le développement des traitements global et local dans l'autisme. Dans cette étude, il est demandé aux participants d'identifier soit la forme globale soit la forme locale de stimuli présentée au centre de l'écran. Quinze enfants, 15 adolescents et 9 adultes autistes et autant de participants contrôles ont participé à cette étude. Scherf et al. (2008) observent une augmentation de la sensibilité au traitement global avec l'âge uniquement dans le groupe contrôle. Autrement dit, plus les participants sont âgés plus ils montrent un avantage du traitement global. Or, cet avantage du traitement global n'est pas observé pour le groupe autiste. Ces résultats indiquent un développement atypique du traitement global et local dans l'autisme.

Dans une seconde partie de cette étude, une tâche d'amorçage a été utilisée (Kimchi, 1998). Dans cette tâche une amorce est présentée pendant 40, 90, 190, 390 ou 690 ms, puis une cible pouvant avoir la même configuration (global) ou les mêmes éléments (local) que l'amorce, est présentée pendant 3000 ms. Les participants doivent décider si la cible est identique ou différente de l'amorce. Les formes peuvent avoir une densité faible (4 éléments) ou bien une densité élevée (16 éléments). Quand les formes ont une densité faible, les participants autistes et contrôles sont plus rapides pour identifier les éléments locaux que la configuration globale. Lorsque les formes ont une densité élevée, les participants autistes, quel que soit leur âge, montrent une plus grande propension à se baser sur les éléments locaux que sur la forme globale pour discriminer les deux formes. Dans le groupe contrôle, la même tendance à se baser sur les éléments locaux est observée, bien que l'effet soit plus grand dans le groupe autiste. Par contre, le groupe adulte contrôle montre un avantage de la configuration globale lorsque l'amorce est présentée à 40ms. Cet effet concorde avec le modèle « coarse to fine » en vision où l'information globale prime lorsqu'il y a peu de temps pour traiter l'information (Oliva & Schyns, 1997). Cet effet n'est observé dans aucun autre groupe. Le groupe autiste montrerait donc un développement plus lent des processus de groupement qui n'arriveraient pas à totale maturation. Cette étude confirme les résultats observés chez des adultes autistes (Behrmann, et al., 2006). Cependant, une étude reprenant la même tâche n'a pas permis d'observer

de différences de performances entre des enfants autistes et contrôles (Plaisted, Dobler, Bell, & Davis, 2006). On peut cependant supposer que le traitement global n'est peut-être pas tout à fait mature chez les enfants typiques à 10 ans et qu'il pourrait être par conséquent normal de ne pas observer de différences entre les deux groupes à cet âge.

En conclusion, beaucoup d'études ont été menées en vision pour étudier les traitements global et local dans l'autisme. Bien que les résultats soient divergents, les résultats semblent globalement indiquer un traitement global intact et une plus grande sensibilité à l'information locale. Cependant, peu d'études ont questionné le développement de ces traitements dans la population autiste et il semblerait que le traitement global en vision soit plus difficilement acquis que dans la population typique. De plus, au-delà des traitements global et local, les traitements ascendants et descendants semblent aussi jouer un rôle important dans la perception visuelle dans l'autisme. Par ailleurs, la théorie WCC comme la théorie EPF suppose que le traitement préférentiel des informations locales est amodal, qu'il résulte soit d'une supériorité des mécanismes perceptifs, soit d'un déficit d'un mécanisme d'intégration de l'information globale. Comme présenté au Chapitre 2, les traitements global et local dans la modalité auditive ont été également examinés. Par conséquent, un certain nombre d'études ont abordé la question d'un biais local dans l'autisme dans cette modalité. Cependant, comme mentionné en introduction, l'étude de la modalité auditive dans l'autisme va au-delà de la question du traitement global et local. Elle est également motivée par les capacités musicales souvent supérieures observées chez les personnes autistes.

2. Le traitement musical chez les personnes autistes

Dans son article fondateur, Kanner (1943) fait la description de 6 cas sur 11 ayant des capacités particulières voire surprenantes en musique, étant donné leur niveau de fonctionnement général relativement bas. Notamment, le cas n°9 est particulièrement remarquable puisqu'il est capable à 18 mois de discriminer

18 symphonies et de nommer leurs compositeurs (rapporté par Heaton, 2009). Les résultats de la première expérience sur la perception musicale réalisée chez les personnes autistes (Applebaum, et al., 1979) indiquent que les enfants autistes reproduisent mieux les mélodies atonales que des enfants typiques ayant une plus grande expérience musicale. La seconde étude portant sur les capacités musicales de personnes autistes a étudié leurs capacités de traiter les notes (Heaton, Hermelin, & Pring, 1998). Dans cette étude, des images d'animaux étaient présentées en association avec une note de musique. Les auteurs observent que les enfants autistes ont des capacités supérieures à celles d'enfants contrôles, pour retrouver la note associée à une image. Ces résultats indiquent une plus grande capacité de stockage en mémoire à long-terme des notes. Il a aussi été observé que des enfants autistes ont des capacités supérieures pour retrouver une note associée à une image dans un accord (Heaton, 2003), confirmant cette capacité supérieure d'associer en mémoire à long terme une note et un label. Dans le cadre de la théorie EPF et WCC, les études se sont focalisées sur le traitement global et local dans le domaine musical.

2.1. L'étude du traitement global et local musical dans l'autisme

Plusieurs études ont été réalisées pour évaluer comment les informations globales (le contour et la transposition) et locales (les intervalles) sont traitées par les personnes autistes. Mottron et al. (2000) ont ainsi étudié la façon dont les personnes autistes perçoivent un changement mélodique au niveau du contour, des intervalles, et de la transposition (contour et intervalle transposé). Treize sujets autistes adultes et 13 sujets contrôles ont participé à cette étude. Les hypothèses de ces auteurs sont basées sur la version antérieure de la théorie EPF : l'hypothèse d'un déficit de hiérarchisation (Mottron & Belleville, 1993). Selon cette hypothèse, le groupe autiste ne devrait pas présenter un avantage du traitement global (contour) par rapport au traitement local (intervalle) tel qu'observé dans la population typique. Selon la théorie WCC, le groupe autiste devrait présenter un déficit du traitement global par conséquent avoir de moins bonnes performances en condition contour qu'en condition intervalle. De plus,

toujours selon la théorie WCC, les participants autistes, présentant un déficit à intégrer les éléments en un tout cohérent, devraient être gênés par la transposition des mélodies. Il leur sera donc difficile de considérer deux mélodies transposées comme identiques (se traduisant par un taux de fausses alarmes plus important) et obtenir des performances équivalentes que ce soit dans la condition contour transposée ou intervalle transposée.

Les résultats indiquent que le groupe autiste, comme le groupe contrôle, obtient des performances supérieures dans la condition contour par rapport à la condition intervalle. Ainsi, les deux groupes montrent un avantage du traitement du contour d'une mélodie par rapport au traitement des intervalles. Le groupe autiste semble aussi être capable d'identifier comme identiques des mélodies transposées puisqu'aucune différence de performances n'est observée avec le groupe contrôle. De plus, le groupe autiste obtient des performances supérieures à celles du groupe contrôle dans la condition intervalle. Cet effet est interprété comme une utilisation plus efficace des valeurs absolues des notes puisque la différence entre les deux groupes n'est pas observée pour la condition intervalle transposée. Ces résultats ne vont donc pas dans le sens de la théorie WCC puisqu'un avantage du traitement global est observé pour le groupe autiste. Ces résultats ne vont pas non plus dans le sens de l'hypothèse d'un déficit de hiérarchisation. Ce biais local en l'absence d'un traitement global atypique a amené Mottron et ses collègues à envisager une autre interprétation du biais local, ce qui conduira à l'élaboration de la théorie EPF et à la proposition d'un impact plus grand de la perception dans la cognition autistique (Mottron et al., 2006).

L'étude des capacités à traiter l'information globale et locale musicale a aussi été menée chez des enfants autistes âgés de 7 à 14 ans (Heaton, 2005). Les enfants autistes étaient appariés à un groupe contrôle sur le QI verbal ainsi qu'à un autre sur le QI non verbal (Peabody Picture Test). Aucune différence de performances n'est observée entre les deux groupes contrôle et autiste pour la détection d'un changement d'intervalle. Cependant, dans cette même étude, les

sujets devaient discriminer des intervalles musicaux petits (1-4 demi-tons[8]), moyens (5-8 demi-tons) ou grands (9-12 demi-tons). Les résultats indiquent que les enfants autistes sont meilleurs pour discriminer de petits intervalles que les enfants des deux groupes contrôles. Des corrélations ont aussi été réalisées entre les performances moyennes à la tâche de discrimination d'intervalle et celles des trois conditions de la tâche de comparaison mélodique (quand les mélodies sont : identiques / modifiées au niveau du contour / modifiées au niveau des intervalles). Aucune de ces corrélations n'est significative, que ce soit pour les sujets autistes ou pour les sujets contrôles. La difficulté de la tâche peut en partie expliquer cette absence de corrélation, puisque dans la condition intervalle seulement 7 sujets sur 45 (tout groupe confondu) ont des résultats supérieurs au niveau du hasard. En effet, les mélodies utilisées dans cette étude sont composées de 10 notes et dépassent par conséquent les capacités de mémoire de travail des enfants. En conclusion, les résultats de cette étude ne mettent pas en évidence de biais local dans le traitement mélodique (supériorité du traitement des intervalles) chez les enfants autistes. Cependant aucun déficit global n'est observé invalidant les prédictions de la théorie WCC. De plus, une meilleure discrimination des petits intervalles entre deux notes est observée. Ces capacités supérieures de discrimination d'intervalle répliquent ceux d'une précédente étude de cas (Heaton, Pring, & Hermelin, 1999).

Comme décrit précédemment la conception du traitement global et local dans la modalité auditive a été remise en question par certains auteurs (Justus & List, 2005). Ce questionnement des concepts est d'autant plus important étant donné l'étude de ces traitements en audition non seulement dans l'autisme, mais aussi dans d'autres troubles développementaux (Deruelle, Schon, Rondan, & Mancini, 2005). Certaines études ont été menées dans l'autisme en utilisant d'autres définitions des éléments locaux et de la forme globale en audition. Il faut cependant souligner que ces études n'ont toutefois pas soulevé la correspondance de ces définitions avec celles employées en vision. Par exemple, Heaton et al. (2007) ont utilisé une tâche d'amorçage harmonique (Tillmann, Bigand, &

[8] Un demi-ton correspond au plus petit intervalle d'une échelle diatonique. Une octave est composée de 12 demi-tons. Visuellement un demi-ton correspond à l'écart d'une note blanche et d'une note noire voisine sur un piano.

Pineau, 1998). Une suite de 7 accords est jouée et les participants doivent décider si le dernier (8ème) accord leur semble sonner juste par rapport au reste de la séquence harmonique. Le dernier accord peut être soit (i) relié au contexte harmonique de la séquence ainsi qu'au dernier accord, soit (ii) relié harmoniquement uniquement à l'avant-dernier accord (condition local relié), soit (iii) relié au contexte harmonique global (condition global relié), soit (iv) il n'est relié ni au contexte ni à l'avant dernier accord. Aucune différence de performances n'est observée entre un groupe de 20 enfants TSA et 20 enfants contrôles. Les auteurs concluent que les enfants TSA sont aussi sensibles au contexte harmonique global et qu'au contexte local.

Par ailleurs, Foxton et al. (2003) proposent que le changement de contour d'une mélodie impliquerait plutôt un traitement local que global. Selon ces auteurs, ces éléments locaux de direction entre les notes seraient perçus en association avec d'autres éléments locaux tels que la valeur absolue des notes formant ainsi une Gestalt auditive. Ces auteurs ont donc voulu savoir si la perception de ces éléments locaux (changement de directions des notes) interférait avec la perception d'un tout cohérent auditif et si les personnes autistes étaient sensibles à cette interférence. Ils observent que les participants avec un TSA sont moins gênés par l'interférence globale que les participants contrôles. Même si la théorie WCC prédit cette moins grande sensibilité à l'interférence globale, les résultats de cette étude ne vont pas tout à fait dans le sens de cette théorie, puisque selon elle, les participants autistes devraient coder uniquement la valeur absolue des notes. Cependant, les résultats de cette étude indiquent que les participants TSA sont capables de percevoir un changement de direction de notes. Bien qu'utilisant des stimuli global et local correspondant peut être plus à ceux utilisé en vision, on peut toutefois indiquer que le paradigme utilisé dans cette étude ne permet pas de manipuler indépendamment les deux niveaux de traitement. Cette étude est toutefois particulièrement intéressante puisque c'est la seule étude menée en audition chez les personnes autistes dont les résultats suggèrent une réduction de l'effet de précédence globale, répliquant ainsi les résultats observés en vision (Liu, et al., 2011 ; Wang, et al., 2007). En reprenant l'analogie avec le système visuel, il est peut être possible que cette

réduction de l'effet de précédence globale en audition reflète une moins grande implication des processus descendants dans la perception auditive. Comme présenté p.28, selon Bregman (1990) l'analyse de scènes auditives implique des processus ascendants et descendants. Il pourrait donc être intéressant d'évaluer l'importance de ces deux processus dans la formation de scènes auditives chez les personnes autistes.

2.2. Des capacités dépassant le domaine musical

Au vu des résultats présentés, même si ces études ne permettent pas de départager les deux théories proposées, il apparait cependant que les personnes autistes ont une capacité supérieure à traiter les notes. De plus, ces capacités semblent ne pas être restreintes au domaine musical. En effet, les résultats d'une étude sur un groupe de 19 enfants TSA et un groupe contrôle apparié sur l'âge, le QI verbal et le QI non verbal, semblent indiquer que cette sensibilité à la hauteur sonore ne se limiterait pas au domaine auditif mais s'étendrait aussi au langage (Järvinen-Pasley & Heaton, 2007). En effet, dans cette étude, les participants devaient décider si des stimuli musicaux (une mélodie de 4 notes) et des stimuli verbaux (des noms et des adjectifs de quatre syllabes) ont le même contour. Alors que dans la condition musicale, aucune différence n'est observée entre les deux groupes, le groupe contrôle réussit moins bien la tâche que le groupe TSA lorsqu'il faut identifier le contour des stimuli langagiers. Ces résultats indiquent que le groupe contrôle arrive moins bien à extraire l'information auditive perceptive des stimuli langagiers que le groupe TSA. Ces résultats ont tout d'abord une importance sur la compréhension du traitement du langage dans l'autisme (partie qui sera abordée en discussion) mais aussi sur l'importance de l'information auditive dans le traitement cognitif des personnes autistes. Cette étude fait écho à des travaux effectués en audition chez les personnes autistes indiquant des capacités supérieures à percevoir certaines caractéristiques acoustiques (Bonnel et al., 2003 ; Gomot, Giard, Adrien, Barthelemy, & Bruneau, 2002). Dans la lignée du modèle EPF (Mottron et al., 2006), supposant que le biais local pourrait être d'origine perceptive, on peut par conséquent poser l'hypothèse qu'une capacité auditive de plus bas-niveau puisse être liée à leurs

capacités musicales supérieures. Nous allons donc maintenant aborder les capacités auditives des personnes autistes.

Chapitre 4. La perception auditive dans les troubles du spectre autistique

Une sensibilité sensorielle particulière a été souvent décrite dans l'autisme et ce, depuis les premières descriptions de Kanner (1943). Elle a souvent été mentionnée dans les diverses descriptions cliniques (O'Neill & Jones, 1997) et les rapports autobiographiques de personnes autistes en font souvent état. C'est le cas de Temple Grandin, qui dans son livre « Ma vie d'autiste » (1988) décrit sa sensibilité auditive ainsi : *« Les bruits forts, soudains m'effraient encore. Ma réaction est plus intense que celle des autres personnes. Je déteste encore les ballons parce que je ne sais jamais quand l'un deux éclatera et me fera bondir. Les bruits aigus et prolongés de moteur, tels que ceux des sèches cheveux et des ventilateurs de salle de bains, m'importunent toujours, mais non pas les moteurs émettant des bruits profonds* » (p.3). Cette sensibilité atypique peut être soit une hyper soit une hypo sensibilité en fonction du type de stimulation. Elle apparait dans toutes les modalités mais une sensibilité auditive particulière est souvent rapportée chez les personnes autistes (Rogers, Hepburn, & Wehner, 2003). Par conséquent, un des items de l'outil diagnostic ADI-r porte plus particulièrement sur cette question, qui est généralement accompagnée de comportement d'évitement (ex : couvrir ses oreilles avec les mains). Une façon de mesurer cette sensibilité sensorielle particulière est d'utiliser le test Short Sensory Profile (SSP, Dunn & Westman, 1997). Ce test est un questionnaire destiné aux parents mesurant les comportements liés à une réponse anormale aux stimuli sensoriels. Pour évaluer si les personnes autistes présentent un profil sensoriel significativement différent de celui des enfants typiques ou bien souffrant d'une autre pathologie, une étude utilisant le SSP a été réalisée sur 102 enfants dont 26 autistes, 20 avec un syndrome d'X fragile, 20 avec un délais développemental et 24 au développement normal (Rogers, et al., 2003). Les résultats de cette étude indiquent que les enfants autistes et les enfants avec un syndrome d'X fragile ont des scores plus élevés sur cette échelle que les enfants au développement normal

ou présentant un délai de développement. De plus, ces différences avec les autres groupes sont d'autant plus marquées lorsque les questions portent sur les sensibilités tactile et auditive. Des résultats similaires ont été observés dans d'autres études réalisées chez les enfants (Tomchek & Dunn, 2007) et les adultes (Crane, Goddard, & Pring, 2009 ; Kern et al., 2006). Une méta-analyse reprenant une quinzaine d'études indique la présence de symptômes sensoriels (sur-responsivité, sous-responsivité, et recherches de stimulation) plus marquée chez les personnes autistes par rapport à des personnes typiques appariées sur l'âge chronologique et l'âge mental (Ben-Sasson et al., 2009). De plus, ces symptômes tendent à se réduire avec l'âge dans la population autiste (Kern et al., 2007).

Certains auteurs proposent qu'un style cognitif conduisant à traiter en priorité les détails puisse expliquer l'incapacité des personnes autistes à filtrer les informations sensorielles (Chen, Rodgers, & McConachie, 2009). Dans cette étude, les auteurs étudient ainsi le lien entre les performances au test des figures emboîtées et les scores observés à l'échelle « Sensory Profile ». Néanmoins, aucune corrélation n'étant observée, les auteurs concluent que la sensibilité sensorielle particulière des personnes autistes pourrait être en partie imputable à un fonctionnement atypique du système périphérique. On peut toutefois s'interroger sur la pertinence de l'évaluation d'une hyper ou hypo sensibilité via un comportement externe (généralement soit par l'évitement ou la recherche de stimulation) mesuré par l'intermédiaire d'un questionnaire rempli par un parent qui peut sous ou sur-estimer ces comportements. Ainsi, la réplication des résultats portant sur l'hyper ou l'hypo sensorialité via un questionnaire est souvent réduite par les différentes méthodologies utilisées par les études (Rogers & Ozonoff, 2005). Une mesure directe via des tâches expérimentales permet, par conséquent, de mesurer plus précisément une sensibilité atypique dans l'autisme.

1. La perception auditive dans les TSA

Un certain nombre d'études ont abordé la question de la perception auditive dans les TSA et des patterns de traitement soit supérieurs, égaux ou inférieurs

par rapport aux non-autistes ont été rapportés sur un large panel de tâches auditives (pour une revue voir Haesen, Boets, & Wagemans, 2011 ; Kellerman, Fan, & Gorman, 2005 ; Nieto Del Rincón, 2008 ; Samson, Mottron, Jemel, Belin, & Ciocca, 2006) Avant de décrire plus en détail ces études comportementales et d'imagerie cérébrale dans la population autiste, nous allons aborder les différentes caractéristiques du stimulus auditif.

1.1. Les caractéristiques acoustiques du son

Le son est analysé par différents relais dans le système auditif périphérique et central permettant d'extraire les différentes propriétés de l'onde sonore. Un son peut être caractérisé selon quatre paramètres : sa fréquence, son amplitude, sa durée et son timbre. La *fréquence* d'un son dépend de sa vitesse de vibration (nombre de cycles par seconde) qui est mesurée en hertz (Hz). La hauteur d'un son dépend presque exclusivement de sa fréquence. Plus la vibration est rapide ou plus le nombre de cycles par seconde est élevé plus le son sera perçu comme aigu et plus la vibration est lente (ou plus le nombre de cycle par seconde est faible), plus le son sera perçu comme grave[9]. *L'amplitude* de la vibration sonore est la caractéristique qui distingue un son de forte intensité d'un son de faible intensité. L'intensité se mesure en décibels (dB) où l'origine de l'échelle (0 dB) correspond au seuil d'audibilité. La zone de confort pour l'écoute d'un son en termes de décibels se situe entre 20 et 80 dB. La *durée* d'un son correspond au laps de temps pendant lequel est perçue sa vibration. Enfin, le *timbre* est défini comme la couleur d'un son, c'est la caractéristique qui permet la distinction entre le son d'une trompette de celui d'une clarinette par exemple. La perception du timbre dépend de plusieurs dimensions perceptives comme la qualité de l'attaque du son ou bien sa brillance (pour une revue voir Donnadieu, 2006).

[9] Il est à noter qu'il existe des sons purs et des sons complexes. Un son pur est composé d'une seule harmonique et sa hauteur dépend exclusivement de sa fréquence. Un son complexe est composé de plusieurs harmoniques, la hauteur perçue correspond à la fréquence de la composante la plus basse (la fréquence fondamentale).

1.2. Etudes sur le traitement auditif dans l'autisme

La capacité de discrimination des différentes dimensions sonores a été explorée chez les personnes autistes. Tout d'abord, au niveau comportemental, Bonnel et al. (2003) ont testé la capacité à discriminer et à catégoriser les fréquences chez les personnes autistes. Pour cela, 12 jeunes adultes autistes et 12 contrôles ont réalisé une tâche de discrimination « pareil-différent » et une tâche de catégorisation « grave-aigu ». Les sons différents sont augmentés de 1%, 2% ou 3% par rapport à la fréquence de départ. Dans la tâche de catégorisation, la personne doit identifier si le son entendu est grave ou aigu par rapport à un son pur d'une fréquence de 1000Hz. Les auteurs observent une meilleure discrimination des sons purs chez les personnes autistes dans les conditions 2% et 3% comparé au groupe contrôle, alors que les performances sont équivalentes dans la condition 1% pour les deux groupes. De plus, les participants autistes catégorisent mieux les sons que les participants contrôles. Ces résultats indiquent une discrimination fréquentielle supérieure chez les personnes autistes. Cette supériorité a été observée dans plusieurs autres études (Bonnel et al., 2010 ; Ferri et al., 2003 ; Gomot, Belmonte, Bullmore, Bernard, & Baron-Cohen, 2008 ; O'Riordan & Passetti, 2006).

Jones et al. (2009) ont voulu tester si ces capacités de discrimination auditive se limitent uniquement à la dimension fréquentielle. Pour cela, ils ont évalué la discrimination de sons variant non seulement sur la dimension acoustique de la fréquence mais aussi sur la durée et l'intensité chez 71 personnes avec TSA et 48 personnes typiques. Sur les trois dimensions acoustiques étudiées, les deux groupes montrent un seuil de détection de changement équivalent. Néanmoins, les auteurs retrouvent pour un sous-groupe de 14 personnes autistes et autres TED une supériorité de discrimination fréquentielle. Ce sous-groupe présente un QI supérieur à 80 et un retard de langage (e.g., premiers mots émis après 24 mois). Ces résultats suggèrent donc un profil particulier chez les personnes autistes qui posséderaient uniquement des compétences de discrimination fréquentielle (Jones et al., 2009). Une autre étude confirme ce profil particulier puisqu'une discrimination supérieure des sons purs n'est observée que chez les

personnes autistes et non chez les personnes Asperger, sous-groupes que l'on distingue selon la présence ou l'absence d'un retard d'acquisition de la parole, respectivement (Bonnel et al., 2010). Cette étude suggère que les compétences exceptionnelles de discrimination auditive chez les personnes autistes ne concernent que la dimension fréquentielle du son puisqu'aucune différence n'est observée entre les deux groupes pour les autres dimensions acoustiques (l'intensité et le timbre vocal et non vocal des sons). Néanmoins, une autre étude, explorant la sensibilité des personnes autistes à l'intensité sonore, conclut à une perception supérieure de l'intensité chez un groupe de 11 enfants autistes ainsi qu'un seuil de tolérance plus faible à l'intensité sonore, indiquant une hyperacousie chez ces enfants (Khalfa et al., 2004). Cette dernière étude témoigne de la possibilité d'observer une discrimination particulière sur les différentes dimensions du son chez les personnes autistes.

Les études effectuant des mesures électrophysiologiques dont le but est d'explorer le réseau neuronal impliqué dans la perception auditive chez les personnes autistes sont plus nombreuses. Ces études sont principalement réalisées en EEG ou en MEG du fait de leurs hautes résolutions temporelles. Dans ce type d'étude, certaines composantes sont plus spécifiquement étudiées en relation avec le traitement auditif. Les composantes N1 et P1 (N pour négative et P pour positive) reflètent le début du traitement auditif. Elles dépendent des caractéristiques acoustiques du stimulus et sont relativement précoces. Ces deux composantes apparaissent généralement autour de 100 ms après l'apparition du stimulus. Les composantes électrophysiologiques à latences supérieures à 100 ms reflètent un niveau de traitement de plus haut niveau, par rapport au traitement sensoriel. La MMN est souvent observée dans les paradigmes utilisant des stimuli déviants parmi un flux de stimuli standards. Elle apparait généralement entre 100 et 250 ms après l'apparition du stimulus déviant.

Dans une étude en EEG, Gomot et al., (2002) ont ainsi étudié cette onde MMN dans une tâche de détection d'un stimulus déviant du point de vue de sa fréquence. Les auteurs observent que la MMN apparaît non seulement plus tôt chez les enfants autistes que chez les enfants contrôles mais qu'elle présente une

topographie différente. Les enfants autistes montrent une activation atypique au niveau de la région frontale gauche alors qu'une activation temporale gauche est observée chez les enfants contrôles. Ces résultats suggèrent l'implication d'un réseau neuronal atypique pour la détection auditive chez les personnes autistes. Ils ont été dupliqués dans une étude sous IRMf (Gomot et al., 2006) dans laquelle une activation atypique chez les personnes autistes au niveau frontal a été observée lors de la détection de sons nouveaux. De même, Ferri et al. (2003) observent une latence plus courte de la N1 chez des personnes autistes avec retard mental ainsi qu'une MMN avec une plus grande amplitude pour les sons déviants par rapport à des sujets typiques sans retard mental. Cependant, d'autres études observent, chez des enfants Asperger, une MMN plus tardive pour la détection d'un changement de la hauteur d'un son qu'il soit de nature verbale ou non (Jansson-Verkasalo et al., 2003) indiquant ainsi une difficulté du traitement auditif chez ces enfants Asperger. D'autres études en MEG, observent une MMF (l'équivalent de la MMN en MEG) de plus faible amplitude pour les sons purs chez des personnes autistes de bas-niveau (Tecchio et al., 2003) ou bien avec une latence plus longue chez des enfants et adolescents autistes avec un QI non verbal normal (Oram Cardy, Flagg, Roberts, Brian, & Roberts, 2005) comparé à des participants au développement normal. Cette capacité à traiter la fréquence ne semble pas limitée seulement aux sons purs puisque les personnes autistes montrent un traitement normal voire supérieur de la hauteur sonore de stimuli langagiers comme les voyelles (Ceponiene et al., 2003 ; Lepistö et al., 2008). Une étude étudiant la perception de l'intensité observe chez des enfants autistes de bas-niveau une N1c (pic survenant vers 130 ms dans les régions temporales) de plus faible amplitude pour des sons variant en intensité (Bruneau, Bonnet-Brilhault, Gomot, Adrien, & Barthélémy, 2003) indiquant ainsi un traitement également atypique pour l'intensité sonore. Concernant la durée, aucun traitement atypique n'est observé pour les sons purs (Kasai et al., 2005) alors qu'une P1 et une P2 de plus faible amplitude pour le traitement de la durée de sons complexes ont été observées chez les personnes autistes (Lepistö et al., 2005).

Ces études indiquent un traitement atypique auditif chez les personnes autistes mais plus particulièrement pour le traitement de la fréquence. Cependant, vu l'hétérogénéité des résultats, il est difficile de conclure à une supériorité du traitement auditif dans l'autisme. Certains auteurs ont proposé de distinguer les résultats en fonction de la complexité des stimuli et du réseau neuronal requis pour les traiter (Samson et al., 2006).

2. La « complexité neuronale »

Récemment, certains auteurs ont proposé que les différences de résultats observées chez les personnes autistes au niveau du traitement cérébral puissent être expliquées par la complexité des stimuli auditifs utilisés dans les différents paradigmes (Samson et al., 2006, Haesen et al., 2010). Cette proposition se base sur l'hypothèse de « complexité neuronale » développée en vision par Bertone et al. (2005). En utilisant des tâches de discrimination visuelle, les auteurs de cette étude ont observé que les personnes autistes sont plus sensibles au changement de luminance que les contrôles et le pattern inverse est observé pour la détection de changement de texture. Suite à ce résultat, Bertone et al (2005) ont formulé l'hypothèse spécifique à la complexité qui suggère que le traitement atypique de certaines caractéristiques visuelles (comme la luminance ou la texture) chez les personnes autistes pourrait être associé à un traitement cortical différent de celui observé chez les personnes typiques. Selon cette hypothèse, la complexité est définie selon l'étendue du réseau cortical requis pour traiter les stimuli. Les stimuli basés sur des variations de luminance sont considérés comme « simples » étant donné qu'ils peuvent être entièrement traités au niveau des aires visuelles primaires (V1). Les stimuli basés sur des variations de texture sont considérés comme complexes considérant que leur traitement requiert l'implication des aires visuelles associatives (V2 et V3) en plus des aires primaires (V1). Il a donc été proposé que les personnes autistes pourraient obtenir des performances supérieures à celles des contrôles pour les stimuli simples (traités au niveau des aires primaires), mais inférieures pour les stimuli complexes (nécessitant un réseau d'aires corticales plus large pour être entièrement analysés). La question

est donc de savoir si la même distinction pouvait s'appliquer en audition étant donné les similitudes de fonctionnement et de traitement entre les deux modalités. Ainsi, selon cette hypothèse de « complexité neuronale » (Bertone et al., 2005), les personnes autistes devraient avoir plus de facilité à traiter les sons simples, traités uniquement par les aires primaires auditives, que les sons complexes, recrutant aussi les aires associatives (Samson et al., 2006).

Cette hypothèse a été testée tout d'abord auprès de 23 enfants et adolescents autistes et contrôles (Groen et al., 2009). Ces auteurs ont mesuré le seuil de détection de mots présentés dans différents types de bruit (i.e., blanc, rose) nécessitant une intégration soit temporelle soit spectrale[10]. Une difficulté à percevoir les mots spécifiquement lorsqu'une intégration temporelle est nécessaire a été observée chez les enfants autistes. Ceci suggère que l'hypothèse de complexité serait vraie uniquement pour la dimension temporelle en audition. Par contre, les résultats d'une tâche utilisant des stimuli non verbaux n'indiquent pas de différence entre les seuils de discrimination pour des sons spectralement (sons complexes harmoniques) et temporellement complexes (sons modulés en fréquence ou en amplitude) que ce soit pour des participants autistes ou Asperger (Bonnel et al., 2010). Une étude IRMf, utilisant le même type de stimuli, c'est-à-dire des sons spectralement et temporellement complexes a permis de mettre en évidence une plus grande activation des aires primaires auditives (Gyrus de Heschl) ainsi qu'une moins grande activation des aires auditives associatives lors de la détection de stimuli temporellement complexes chez les personnes autistes comparativement aux personnes contrôles (Samson et al., 2011). Cette différence n'est pas observée pour les sons spectralement complexes. Ceci corrobore les résultats d'une étude neuro-anatomique utilisant des analyses d'épaisseur corticale et de morphométrie chez des personnes autistes. Les analyses indiquent une différence structurelle, en termes d'augmentation de matière grise dans les aires auditives et visuelles primaires et certaines aires associatives perceptives (Hyde, Samson, Evans, & Mottron, 2010).

[10] Un objet sonore peut être identifié sur la dimension de la hauteur sonore et du temps (Griffiths & Warren, 2004). Cette taxonomie des dimensions spectrales et temporelles semble être particulièrement pertinente pour refléter l'organisation du cortex auditif (Samson, Zeffiro, Toussaint, & Belin, 2011).

En conclusion, nous avons pu voir que les personnes avec TSA ont un traitement auditif atypique et plus particulièrement un traitement supérieur de la fréquence sonore pour les sons purs. Cependant, certaines études semblent indiquer que ce traitement atypique ne se limiterait pas uniquement à cette caractéristique acoustique (Khalfa, 2004 ; Bruneau et al., 2003) mais qu'il pourrait s'observer sur d'autres dimensions tel que l'intensité et la durée. Il existe, par ailleurs, un autre phénomène auditif intéressant dans l'autisme, c'est la possession plus souvent observée d'oreille absolue (i.e., la capacité à identifier une note en l'absence de note de référence). Cette observation est d'autant plus intéressante qu'elle semble refléter un mécanisme cognitif propre à l'autisme. C'est le sujet du chapitre suivant.

Chapitre 5. La question de l'oreille absolue dans l'autisme

Les idées exposées dans ce chapitre sont issues de l'article : Mottron & Bonnel, Bouvet, Samson, Burack, Heaton (soumis). Linking absolute pitch, savant syndrome and synesthesia to autism: The case for enhanced veridical perceptual mapping.

Le phénomène d'oreille absolue dans l'autisme est décrit comme étant cent fois plus souvent observé que dans la population typique (Rimland & Fein, 1988). Ce phénomène est principalement connu dans la population autiste grâce à l'étude de personnes autistes savantes (Heaton, Davis, & Happé, 2008 ; Mottron, Peretz, Belleville, & Rouleau, 1999 ; Sloboda, et al., 1985 ; Young & Nettelbeck, 1995). Dans ce chapitre, nous allons exposer l'idée qu'un mécanisme spécifique dans l'autisme, le mécanisme de cartographie véridique puisse expliquer cette observation plus fréquente d'oreille absolue dans l'autisme. Pour cela, nous allons donc tout d'abord décrire le phénomène d'oreille absolue dans la population typique. Nous développerons également le fait que l'oreille absolue puisse être considérée comme un sous-type de synesthésie. Nous aborderons ensuite ces phénomènes dans la population autiste et nous développerons enfin le mécanisme de cartographie véridique.

1. Le phénomène de l'oreille absolue dans la population générale

Comme précédemment souligné, le phénomène d'oreille absolue est un phénomène rare dans la population générale, environ 1 pour 10 000 (Takeuchi & Hulse, 1993). Chez les musiciens, sa prévalence est estimée comme étant plus élevée et dépendrait du degré d'expertise musicale: 1/1500 chez les musiciens amateurs (Profita & Bidder, 1988) et environ 15/100 chez les musiciens professionnels (Baharloo, Johnston, Service, Gitschier, & Freimer, 1998). Il existe

un large débat autour du caractère inné ou acquis de l'oreille absolue. Plusieurs études supposent un lien génétique dans l'acquisition de l'oreille absolue (Baharloo, Service, Risch, Gitschier, & Freimer, 2000). D'autres études indiquent un lien chromosomique dans les familles où plus de deux membres ont l'oreille absolue (Theusch, Basu, & Gitschier, 2009). De plus, le taux de concordance est plus élevé chez les jumeaux monozygotes que dizygotes (Theusch & Gitschier, 2011). Dans un sondage de plus de 2000 individus, une distribution bimodale de l'oreille absolue a été observée suggérant que cette capacité puisse être influencée par un nombre limité de gènes (Athos et al., 2007).

Cependant d'autres auteurs soutiennent que l'oreille absolue peut s'acquérir durant l'enfance (théorie de l'apprentissage précoce). Ainsi, tout le monde pourrait développer l'oreille absolue si l'apprentissage pour associer des notes de musique à un nom se fait pendant une période critique de développement et plus particulièrement avant l'âge de 5 ans (Miyazaki, 1988 ; Takeuchi & Hulse, 1993). Certaines études observent que les personnes possédant l'oreille absolue ont eu un apprentissage musical plus précoce que les personnes ne la possédant pas (Baharloo, et al., 1998 ; Gregersen, Kowalsky, Kohn, & Marvin, 1999). En accord avec cette observation, un apprentissage précoce de la musique est souvent associé à une performance supérieure aux tâches d'identification de notes (Deutsch, Dooley, Henthorn, & Head, 2009 ; Deutsch, Henthorn, Marvin, & Xu, 2006 ; Miyazaki, 1988).

Plusieurs mécanismes ont été proposés pour expliquer le phénomène de l'oreille absolue. Une première hypothèse émise suppose que l'oreille absolue serait due à une supériorité de discrimination de la hauteur sonore. Néanmoins, plusieurs recherches ont montré que les capacités de discrimination acoustique ne sont pas différentes entre les musiciens avec ou sans oreille absolue (Fujisaki & Kashino, 2002 ; Miyazaki, 2004a). Un mécanisme maintenant largement accepté est que les personnes avec l'oreille absolue stockeraient en mémoire à long terme la note et son label dans une sorte de « modèle interne » (e.g., Bermudez & Zatorre, 2005). Certains auteurs considèrent que la note stockée en mémoire à long terme pourrait être associée soit à un code verbal (Burns &

Campbell, 1994 ; Rakowski, 1993 ; Siegel, 1974 ; Siegel & Siegel, 1977) soit un code multiple (e.g., auditive, visuel, kinesthésique) (Zatorre & Beckett, 1989). Par conséquent, les personnes avec l'oreille absolue catégoriseraient l'information auditive (Levitin & Rogers, 2005). Le fait que les personnes possédant l'oreille absolue recrutent moins la mémoire de travail pendant des tâches demandant, par exemple de comparer la hauteur de différentes notes, vont dans le sens de cette supposition. Cette observation a été faite au niveau comportemental (Zatorre & Beckett, 1989) ainsi qu'au niveau des structures neuronales impliquées (Klein, Coles, & Donchin, 1984 ; Wayman, Frisina, Walton, Hantz, & Crummer, 1992).

Au niveau des aires cérébrales impliquées dans l'oreille absolue, les études en imagerie corroborent l'idée de mécanismes spécifiques. Une plus grande activation des régions temporales associées à une expertise auditive et la catégorisation de sons (Belin, Fecteau, & Bédard, 2004 ; Leech, Holt, Devlin, & Dick, 2009 ; Liebenthal et al., 2010) est observée chez les personnes possédant l'oreille absolue. Par exemple, une activité supérieure au niveau du sulcus temporal supérieur a été observée chez les personnes avec l'oreille absolue lors d'une tâche de mémorisation de notes (Schulze, Gaab, & Schlaug, 2009). Les personnes avec l'oreille absolue montrent aussi une plus grande activité du cortex préfrontal dorso-latéral, régions associées à l'apprentissage conditionnel et l'identification d'objets (Petrides, 1985). Cette région est activée chez les musiciens sans oreille absolue dans une tâche d'identification d'intervalles, alors qu'elle est uniquement activée chez les personnes avec oreille absolue lors d'identification de notes (Zatorre, Perry, Beckett, Westbury, & Evans, 1998). Une différence au niveau du planum temporale est aussi observée entre les possesseurs ou non de l'oreille absolue. Les musiciens avec oreille absolue montrent une asymétrie gauche du planum temporale plus marquée que les personnes sans oreille absolue, musiciens et non musiciens (Hirata, Kuriki, & Pantev, 1999 ; Schlaug, 2001 ; Schlaug, Jancke, Huang, & Steinmetz, 1995 ; Wilson, Lusher, Wan, Dudgeon, & Reutens, 2009 ; mais voir aussi Keenan, Thangaraj, Halpern, & Schlaug, 2001).

2. L'oreille absolue : un sous-type de synesthésie ?

L'oreille absolue étant l'association d'un nom à une note, elle peut être considérée comme un sous-type de synesthésie (i.e., perception dans une modalité induite automatiquement par une autre modalité). Il existe en tout plus de 61 formes de synesthésies (Simner, 2010). Dans un tiers des synesthésies, le son est la perception inductrice d'une autre perception, comme par exemple la couleur (Hochel & Milán, 2008). L'oreille absolue et la synesthésie sont deux phénomènes se développant précocement, sous influence génétique et qui requièrent une association perceptive stable entre deux types de représentations. A part quelques exceptions, ces deux phénomènes sont la plupart du temps unidirectionnels. Par exemple, alors que la musique peut induire la perception de couleur dans la synesthésie ou bien le nom d'une note dans le cas de l'oreille absolue, l'inverse n'est pas observé dans les deux cas. Cependant, on peut relever que les associations observées dans la synesthésie sont typiquement personnelles alors que l'association entre un son et une note est similaire chez toutes les personnes possédant l'oreille absolue. Néanmoins, des bases communes sont évidentes dans l'association de graphèmes à une couleur chez les synesthètes et les non synesthètes (Simner & Ludwig, 2011 ; Simner et al., 2005). L'observation de l'oreille absolue et la synesthésie chez une même personne a été observée dans plusieurs cas à travers la littérature (Bernard, 1986 ; Bor, Billington, & Baron-Cohen, 2007 ; Carroll & Greenberg, 1961 ; Haack & Radocy, 1981 ; Hänggi, Beeli, Oechslin, & Jäncke, 2008 ; Parker, Cahill, & McGaugh, 2006 ; Vanechkina, 2001). De plus, il semble que ces deux phénomènes reposent sur une connectivité atypique. En efffet, les résultats d'une étude en Imagerie par Diffuseur de Tension montrent que les personnes possédant l'oreille absolue comparativement à des musiciens ne la possédant pas, présentent un phénomène d'hyper-connectivité entre les aires primaires et associatives (Loui, Li, Hohmann, & Schlaug, 2010). Dans cette étude, une corrélation est également observée entre la capacité à identifier correctement des notes et le volume de fibres connectant les régions supérieures temporales chez les personnes avec l'oreille absolue. De même, une augmentation de la connectivité structurelle (Rouw & Scholte, 2007) ainsi qu'une augmentation du volume des matières grises sont observées dans les

synesthésies graphème-couleur (Weiss & Fink, 2009) et dans les cas de synesthésies multiples (Hänggi, et al., 2008).

3. L'oreille absolue dans l'autisme

Bien qu'il n'existe pas d'études épidémiologiques sur ce sujet, la prévalence de l'oreille absolue dans l'autisme est estimée à environ 1/20 (Rimland & Fein, 1988). Le phénomène d'oreille absolue dans l'autisme a été majoritairement décrit via l'étude de personnes savantes possédant l'oreille absolue. Comme mentionné précédemment, le syndrome savant et l'autisme sont souvent associés (Hermelin, 2001). L'étude de personnes autistes savantes musiciennes a permis de mettre en évidence une acquisition particulière de l'oreille absolue ainsi que des mécanismes qui semblent distincts de ceux observés dans la population typique (Heaton, Davis, et al., 2008 ; Mottron, Peretz, et al., 1999 ; Sloboda, et al., 1985 ; Young & Nettelbeck, 1995). Tout d'abord, plusieurs cas de personnes autistes développant l'oreille absolue sans apprentissage préalable ont été rapportés (Brenton, Devries, Barton, Minnich, & Sokol, 2008 ; Young & Nettelbeck, 1995). De plus, les personnes autistes possédant l'oreille absolue montrent souvent des capacités auditives supérieures à celles des personnes contrôles. Ceci est d'autant plus surprenant que cela ne semble pas être le cas chez les personnes typique possédant l'oreille absolue (Bachem, 1955 ; Miyazaki & Rakowski, 2002 ; Vangenot, 2000). Par exemple, ces personnes autistes sont capables de nommer les sons de leur environnement (Brenton, et al., 2008 ; Heaton, Davis, et al., 2008). Elles ont souvent des performances quasi parfaites dans les tâches de discrimination de sons (Heaton, Davis, et al., 2008 ; Heaton, Williams, Cummins, & Happé, 2008 ; Young & Nettelbeck, 1995). Par exemple, AC (Heaton, Davis, et al., 2008), personne autiste savant possédant l'oreille absolue et parlant plusieurs langues, est capable d'identifier la fréquence fondamentale de mots en français et en anglais et ses performances dans cette tâche dépassent de plus de 6 écart-types celles des contrôles possédant aussi l'oreille absolue. Ces descriptions semblent donc indiquer que l'oreille absolue apparait dans l'autisme sans apprentissage musical préalable. De plus, il

semblerait que les capacités auditives de ces personnes semblent dépasser leur capacité à posséder l'oreille absolue.

Les études de groupe menées par Pamela Heaton sur les enfants autistes ont montré que ces enfants ont de plus grandes capacités pour associer en mémoire à long terme un label à une note (Heaton, 2003 ; Heaton, et al., 1998). Cette plus grande capacité d'association pourrait être un pré-requis pour le développement de l'oreille absolue et ainsi fournir une explication à sa plus grande prévalence dans l'autisme.

Chin (2003) a proposé un modèle selon lequel, pour développer l'oreille absolue, il faut non seulement avoir été formé musicalement assez précocement mais aussi être génétiquement prédisposé envers un style cognitif analytique. Ce modèle pourrait donc expliquer pourquoi toutes les personnes qui suivent des cours musicaux dans leur jeune âge ne développent pas obligatoirement l'oreille absolue. Cette prédisposition génétique favorisant le développement de l'oreille absolue associé avec un style cognitif favorisant le traitement des éléments locaux peut rappeler celui observé dans l'autisme. Ce modèle va dans le sens d'une étude réalisée par Brown et al. (2003) comparant les résultats à des tests de personnalité de 33 musiciens classiques ne possédant pas l'oreille absolue et de 13 possédant l'oreille absolue. Les musiciens possesseurs de l'oreille absolue sont considérés comme des individus plus socialement excentriques et présentent des scores sur la dimension du langage et de la personnalité qui les placent dans le champ large du phénotype autistique. De plus, les sujets des deux groupes ont passé cinq sous-tests de l'échelle de la WAIS. Le groupe avec l'oreille absolue montre un pic de performance au sous-test « cubes » comme observé dans la population autistique (Caron et al 2006). Ceci suggère donc que les personnes typiques possédant l'oreille absolue partagent certains traits cognitifs avec les personnes autistes. Ainsi, l'autisme et l'oreille absolue semblent posséder certains traits en commun. La question de l'observation de la synesthésie dans l'autisme a aussi été soulevée.

4. L'autisme et la synesthésie

Il semble tout d'abord que la synesthésie apparaisse plus souvent dans l'autisme que dans la population typique. Une enquête préliminaire réalisée sur 142 personnes autistes et 49 contrôles indique une incidence de la synesthésie de 12% chez les autistes et de 4% chez les contrôles (Johnson, Allison, & Baron-Cohen, 2011). Cependant, très peu d'études ont questionné ce lien. Le seul cas rapporté est pour l'instant celui de Daniel Tammet, personne Asperger savante et synesthète (Baron-Cohen et al., 2007). Néanmoins, il semble que l'autisme et la synesthésie aient beaucoup en commun. Tout d'abord la synesthésie est associée à une perception supérieure de bas-niveau, dans une modalité. Une perception supérieure de la couleur a été observée chez les synesthètes dont la modalité inductrice est la couleur et une perception supérieure du toucher chez les synesthètes dont la modalité inductrice est le toucher (Banissy, Walsh, & Ward, 2009). De plus, une différence sur les traitements perceptifs précoces permet de distinguer les synesthètes des non synesthètes (Goller, Otten, & Ward, 2009). Par exemple, les synesthètes graphème-couleur présentent une réponse corticale supérieure en potentiels évoqués visuels (C1), apparaissant entre 65 et 85 ms, pour des stimuli visuels de bas-niveau (Barnett, Foxe, et al., 2008). Cette différence est observée pour les stimuli n'induisant pas de synesthésie, suggérant ainsi un traitement perceptif supérieur chez ces personnes pour les stimuli de bas niveaux. Un autre lien entre l'autisme et la synesthésie semble être une certaine prédisposition génétique. En effet, le scan du génome entier de 43 familles de synesthètes présentant une synesthésie audio-visuelle (Asher et al., 2009) indique que le marqueur qui a obtenu le plus haut score LOD, score indiquant le degré de lien génétique, a aussi été retrouvé dans l'autisme (IMGSAC, 2001).

Nous avons donc vu que l'autisme partage certains liens avec l'oreille absolue, la synesthésie et le syndrome savant. Nous proposons que le mécanisme de cartographie véridique mécanisme observé dans l'autisme, puisse expliquer leur plus fréquente observation dans l'autisme (Mottron & Bonnel, Bouvet, Samson, Burack, Heaton, soumis).

5. Le mécanisme de cartographie véridique

Lors d'une actualisation du modèle EPF, Mottron et collaborateurs (Mottron, Dawson, & Soulières, 2009 ; Mottron, Soulières, & Dawson, 2011) ont proposé que le mécanisme de cartographie véridique (*veridical mapping*) soit un mécanisme cognitif particulièrement à l'œuvre dans l'autisme. Ces auteurs supposent que le développement de ce mécanisme est possible grâce aux capacités perceptives supérieures des personnes autistes. Le mécanisme de correspondance véridique est un mécanisme associatif entre deux structures qui partagent un haut degré de similarité perceptive, c'est-à-dire entre deux structures isomorphiques. Ce mécanisme de cartographie véridique permettrait aux personnes autistes de mieux détecter les structures répétitives au niveau perceptif et d'établir une correspondance entre deux séries de patterns partageant la même structure perceptive. La mise en évidence de ce mécanisme de cartographie véridique est issue de l'étude du syndrome savant. En effet, le matériel utilisé dans le syndrome savant est un code créé par le système humain et qui est, par définition, structuré comme par exemple les lettres, les chiffres, le nom des notes. Ces codes se répètent (les lettres formant des mots, les chiffres des nombres, et les notes une mélodie) en une structure cohérente. Les personnes savantes autistes par le mécanisme de cartographie véridique sont capables de détecter la répétition perceptive de ces codes et de les associer avec d'autres structures partageant cette même répétition. Par exemple, le son des notes et le nom des notes, les dates de l'année (i.e., 2 mars) et les jours correspondant (i.e., mardi).

Plusieurs études ont mis en évidence ce mécanisme dans une population autiste. Par exemple, dans l'étude de Perreault et al. (2011), les participants devaient détecter la similarité visuelle de patterns en miroir. Les résultats indiquent que les personnes autistes ont un seuil de détection des patterns en miroirs plus bas que les contrôles que la symétrie soit verticale, horizontale ou oblique. Ceci indique que les personnes autistes sont plus sensibles à la répétition de patterns que les personnes typiques. Ce résultat va dans le sens d'autres études comportementales indiquant une plus grande aptitude des

personnes autistes à effectuer une rotation mentale de figures en 3D (Falter, Plaisted, & Davis, 2008). En effet, dans ce type de tâche, les participants doivent apparier mentalement deux formes présentées dans des positions différentes, pour identifier si elles sont identiques ou non. Une autre étude indique que cette capacité serait plus particulièrement présente dans un sous-groupe de personnes autistes, celles présentant un pic de performance au sous-test des « cubes » (Soulières, Zeffiro, Girard, & Mottron, 2011). Ce mécanisme de cartographie véridique pourrait avoir une base perceptive comme le suggère plusieurs études IMRf dont les résultats indiquent une plus grande activation des aires perceptives visuelles pour différentes tâches cognitives (Gaffrey et al., 2007 ; Manjaly, et al., 2007 ; Soulières et al., 2009). Une méta-analyse reprenant 26 études d'imagerie où une information visuelle est présentée à un total de 357 personnes autistes et 370 personnes non autisme, démontre la robustesse de ce profil d'activité dans la modalité visuelle (Samson, Mottron, Soulières, & Zeffiro, 2011). En effet, les régions les plus activées chez les personnes autistes sont celles qui sont situées dans les régions impliquées dans la perception visuelle, et plus particulièrment le gyrus fusiforme qui est une région impliquée dans l'expertise visuelle (Gauthier, Tarr, Anderson, Skudlarski, & Gore, 1999). Ces données sont consistentes avec les études au niveau comportemental indiquant une supériorité dans la manipulation, l'appariement de patterns et la rotation d'informations visuo-spatiales chez les personnes autistes (Caron, et al., 2006 ; Soulières, et al., 2011).

En conclusion, le mécanisme de cartographie véridique, reposant sur les capacités perceptives des personnes autistes, pourrait expliquer leurs performances supérieures dans les tâches impliquant une manipulation de patterns. Nous avons aussi relevé que les phénomènes d'oreille absolue, de synesthésie, et de syndrome savant, sont plus souvent observés dans l'autisme que dans la population typique. Ces trois phénomènes reposant sur l'association de perceptions de différentes modalités ou bien de patterns partageant une structure perceptive commune, nous avons émis l'hypothèse que le mécanisme de cartographie véridique puisse expliquer leurs plus fréquentes observations dans

l'autisme. De plus, il semblerait que l'oreille absolue dans l'autisme, via l'étude de personnes savantes, apparaisse sans entrainement musical préalable et que les capacités auditives de ces personnes dépassent les capacités auditives de personnes typiques avec l'oreille absolue. Ces observations indiqueraient que l'oreille absolue dans l'autisme reposerait sur une base perceptive et que son acquisition ne semble pas dépendre d'un apprentissage musical. L'exploration a priori de ces hypothèses pourra permettre de mieux comprendre ce mécanisme ainsi que le développement de ces capacités dans l'autisme.

Problématique et objectifs

L'objectif de cette thèse est d'étudier les capacités musicales des personnes présentant un trouble du spectre autistique (TSA), capacités relativement peu documentées par rapport à la modalité visuelle. Les études présentées sont réalisées dans le cadre de deux modèles cognitifs : la faiblesse de cohérence centrale (WCC) et théorie du surfonctionnement perceptif (EPF). Ces deux théories postulent toutes deux un traitement supérieur des éléments locaux dans l'autisme, mais elles divergent sur son origine (voir Chapitre 1). Ainsi la théorie WCC postule que ce biais local aurait pour origine un déficit d'intégration des éléments locaux en un tout cohérent. Cette théorie suppose également un déficit des traitements descendants dans l'autisme. A l'inverse, la théorie EPF postule que le traitement global serait intègre chez les personnes autistes et propose que le biais local soit dû à un surfonctionnement des traitements perceptifs de bas-niveaux. Cette théorie suppose également que, comparativement à la population typique, les traitements descendants seraient impliqués de façon moins automatique dans la cognition autistique, et que les traitements ascendants auraient un plus grand impact dans celle-ci. Un récent développement de la théorie EPF a également proposé qu'un mécanisme de cartographie véridique puisse expliquer la plus grande incidence d'oreille absolue ainsi que l'apparition de capacités savantes dans l'autisme.

Le travail présenté dans cette thèse vise à confronter ces deux théories dans le domaine auditif. Tout d'abord, ce travail a pour objectif de comparer les performances de personnes autistes et typiques sur les dimensions globale et locale en audition en tenant compte des éventuels effets développementaux. En effet, même si l'autisme est un trouble envahissant du développement, peu d'études ont étudié le développement de ces traitements dans cette population. Un travail sous-jacent à l'étude du traitement global et local en audition est d'aborder la question de l'amodalité de ces traitements et des processus sous-jacents impliqués. Toujours dans le cadre des théories EPF et WCC, ce travail

vise également à étudier les capacités de discrimination auditives des personnes autistes ainsi que leur l'impact dans des traitements de plus hauts niveaux. Enfin, l'implication des processus ascendants et descendants dans la formation de scènes auditives sera également abordée.

Des études visant à confronter les hypothèses issues des modèles WCC et EPF, en termes de traitement global et local musical, seront ainsi présentées dans le Chapitre 6. Elles évaluent l'intégrité des traitements global et local via des tâches de discrimination mélodique et d'accords. La comparaison des performances observées pour les personnes autistes et contrôles se fera également au regard des effets développementaux. Par ailleurs, nous évaluerons la question de l'hypersensibilité auditive à travers différentes tâches de discrimination auditive (fréquence, intensité, timbre) au Chapitre 7. De plus, la théorie EPF postulant un rôle plus important de la perception dans la cognition autistique, nous évaluerons le lien entre les performances sur ces différentes tâches auditives et celles obtenues aux tâches musicales. Au Chapitre 8, nous évaluerons l'amodalité du biais local via une tâche de discrimination visuelle puis nous questionnerons si les processus sous-tendant les traitements global et local tels que définis par Navon (1977) sont similaires à ceux impliqués dans le traitement du contour mélodique et des intervalles. Au Chapitre 9, la question des processus ascendants et descendants dans la formation de scène auditive dans l'autisme sera abordée via une tâche de reconnaissance de mélodies entremêlées. Enfin au Chapitre 10, nous présenterons le cas d'une personne autiste savante possédant l'oreille absolue. Nous questionnerons ses capacités auditives et musicales ainsi que l'acquisition et le développement de ces capacités savantes dans le cadre du modèle EPF et du mécanisme de cartographie véridique.

Partie expérimentale

Considérations méthodologiques

Avant de présenter les différentes études réalisées dans la cadre de ce travail, nous allons donner quelques précisions sur les aspects méthodologiques communs aux différentes études.

1. Participants

Pour ces études, un groupe présentant un Trouble du Spectre Autistique (TSA) et un groupe contrôle ont été recrutés. Chacune de ces populations est composée d'un groupe adulte et d'un groupe enfant.

1.1. Groupe TSA adulte et enfant

Douze adultes (M = 21.15, ET = 6.2) et 15 enfants (M = 9.5, ET = 1.9) avec un TSA ont participés à cette étude. Les caractéristiques de ces participants sont résumées dans le Tableau 1. La majorité des participants a été recrutée via les principaux centres de diagnostic de la région grenobloise: le Centre Alpin de Diagnostic Précoce de l'Autisme (CADIPA, Grenoble) et le Centre d'Evaluation Savoyard de l'Autisme (CESA, Chambéry). Deux participants ont été recrutés par les associations de parents de personne autistes (Envol Isère). Les critères d'inclusion étaient les suivants : diagnostic posé avec les outils Adi-r et Ados, pas de retard mental (QI global supérieur à 70), pas de comorbidité associée et pas de prise de médicaments. Après consentement de la personne ou de la famille, les mesures d'intelligence et le bilan diagnostic ont été recueillies auprès des institutions ou directement auprès de la famille. Pour la plupart des participants, le niveau d'intelligence a été mesuré via l'échelle de Wechsler (WAIS, WISC ou encore WPPSI-R) ou bien via le K-ABC. Bien que les conceptions théoriques à la base de ces tests soient différentes, ceux-ci sont reconnus pour donner une même mesure globale d'intelligence (Laffaiteur et al., 2001). Les mesures d'intelligence

de deux personnes adultes n'étaient pas disponibles mais leur niveau de scolarité (niveau bac) suggère un QI dans la norme. De même, les scores d'ADI-R n'ont pas pu être obtenus pour deux individus mais le diagnostic a été posé par des professionnels selon les critères du DSM-IV. Les adultes (M = 105, ET = 20.8) et les enfants (M = 90.85, ET = 12.1) ont un QI verbal ainsi qu'un QI performance (adultes : M = 93.2, ET = 21.6 ; enfants : M = 98.3, ET = 19.9) dans la moyenne.

Par ailleurs, la mémoire à court terme des participants a été évaluée par le sous-test mémoire de chiffres du Wechsler puisque la plupart des études nécessitent de retenir en mémoire une séquence auditive afin de pouvoir la comparer à la séquence suivante. Les adultes (M = 8.25, ET = 4.3) et les enfants (M = 9.4, ET = .2) ont une capacité de mémoire à court terme dans la moyenne. Tous les participants présentent une audition correcte. Six participants ont rapporté avoir eu une pratique musicale allant de un à cinq ans. L'ensemble des participants TSA étaient vus en deux fois pour réaliser l'ensemble des 11 tâches, soit à domicile ou à l'université Pierre Mendès France dans un box expérimental. L'ensemble des passations durait environ 3h. Afin d'alléger la passation pour les enfants, un dessin animé était proposé après deux ou trois épreuves consécutives.

1.2. Groupe contrôle

1.2.1. Groupe contrôle adulte

Un groupe de 13 adultes (M âge = 22.2, ET = 4.1) au développement normal a été recruté pour participer à cette étude (voir Tableau 1). Les critères d'inclusion étaient de ne pas avoir un niveau d'études supérieur au bac et de ne pas avoir de formation musicale. Le test se déroulait à l'université Pierre Mendès France dans un box expérimental et les participants recevaient une indemnisation de 30 euros pour leur participation. Avant le début des tests, une version abrégée du Wechsler (WASI) a été administré aux participants. Cette version abrégée est composée de deux sous tests de l'échelle verbale (vocabulaire et similitudes) et de deux sous tests de l'échelle performance (matrices et cubes) qui permettent de donner un score de QI global.

Le groupe adulte contrôle et le groupe adulte TSA, ont un QIV équivalent (p = .56), ainsi que des capacités de mémoire de travail équivalentes (p =.9), de même qu'un âge chronologique équivalent (p = .61).

	Groupe TSA		Groupe contrôle
	Adultes	Enfants	Adultes
Taille échantillon (sexe)	12(10M, 2F)	15(14M, 1F)	13(7M, 6F)
Age			
M(ET)	21,15 (6,2)	9,5 (1,9)	22.2 (4,1)
Étendue	15-38	7-13	18-30
Diagnostic			
Asperger	7	2	
Autisme	4	10	
TED-Nos	1	2	
Mémoire à court terme			
M (ET)	8.25 (4.3)	9.4 (2)	8.4 (2.1)
Wechsler QIV			
M (ET)	105 (20,82)	90,85 (12,1)	105 (11)
Etendu	85-144	77-118	88-122
Wechsler QIP			
M (ET)	93.2 (21.6)	98.3 (19.9)	112.3 (12)
Etendu	71-124	78-138	93-128
K-abc			
Score global	100	101	
Adi-R			
M (score seuil)			
Communication	15.4 (8)	14.14	
Social	20 (10)	20.07	
Comportement	4.7 (3)	4,5	

Tableau 1. Caractéristiques des participants TSA adultes et enfants et des participants contrôles adultes aux Etudes 1, 2, 3, et 5.

1.2.2. Groupe contrôle enfant

Soixante-deux enfants au développement normal ont également participé à l'ensemble des études. Les enfants ont été recrutés dans trois écoles primaires du bassin grenoblois. Les enfants contrôles n'ont pas passé la totalité des tâches mais uniquement un sous-groupe de deux ou trois tâches pour une durée de passation maximale de 20 minutes. Un consentement de participation à l'étude a

été distribué dans les classes, rempli par les parents et remis à l'enseignant. Les caractéristiques de ces enfants ainsi que leurs répartitions dans les différentes tâches sont présentées dans le Tableau 2. Les enfants étaient testés individuellement à l'école dans une pièce calme. Aucune mesure de QI n'a été effectuée chez ces enfants mais il est supposé que, puisque ces enfants suivaient une scolarité normale, leur QI devait être dans la norme. Aucune différence d'âge chronologique n'est observée entre le groupe d'enfants TSA et le groupe d'enfants contrôle ($p = .62$).

	Groupe enfants contrôles			
Groupe de tâches	Mélodique (contour/intervalle) Fréquence	Rythme* Métrique* Durée	Accords Transposition Intensité	Ségrégation Formes visuelles
Taille échantillon (sexe)	14(6F-8M)	15(6F-9M)	15 (7F-8M)	13 (4F-9M)
Age				
M(ET)	9.4 (1.4)	9.2 (0.9)	9.6 (1.5)	9(1.22)
Étendue	8-11	8-11	8-11	7-11

Tableau 2. Caractéristiques des enfants contrôles aux différentes tâches. * = les résultats de ces tâches ne seront pas présentés dans le cadre de ce travail doctoral.

2. Procédure générale

L'ensemble des tâches de discrimination auditive, musicale et visuelle sont construites selon un paradigme pareil-différent. Dans chacune des tâches, deux séquences sont présentées séquentiellement. Les participants doivent décider si les paires formées par les deux séquences sont identiques ou différentes en appuyant sur un des deux boutons du boîtier réponse (bouton vert si les sons sont identiques et rouge si les sons sont différents), voir Figure 11. Avant chaque session de test, une session d'entrainement dont le nombre d'essais dépend du type de tâche est proposé. Durant cette session, un feed-back visuel est donné (le mot correct ou incorrect est écrit en bleu ou en rouge respectivement). L'ordre des 11 tâches est contrebalancé entre les participants.

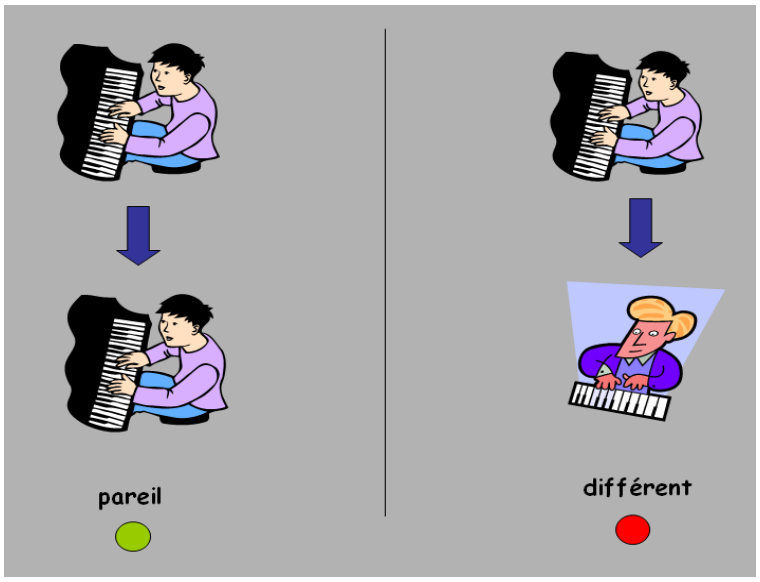


Figure 11. Exemple de consigne donnée visuellement aux participants.

Toutes les tâches sont contrôlées avec le logiciel Eprime et ont été présentées sur un portable PC de marque Asus ou Dell. Les stimuli auditifs étaient présentés via un casque Sennheiser HD 212Pro, à un niveau sonore de 58-60dB.

3. Analyse des résultats

Pour chacune des tâches mesurant les réponses correctes et pour chaque participant, un indice de sensibilité *(d')* a été calculé selon la théorie de la détection du signal (Macmillan & Creelman, 1991). Cet indice est obtenu en soustrayant la proportion de détections correctes (réponse « différente » quand les deux stimuli sont bien physiquement différents) à la proportion de fausses alarmes (réponse « différente » quand les deux stimuli sont physiquement identiques), voir Tableau 3.

Soit selon la formule suivante:

$$d' = Z(\text{détection correctes}) - Z(\text{fausses alarmes})$$

où Z(*p*) est la probabilité d'obtenir cette valeur dans la population. Cette probabilité suit une distribution normale. L'indice *d'* moyen pour chaque groupe (adulte TSA, enfant TSA, adulte contrôle et enfant contrôle) est utilisé comme mesure pour l'analyse statistique.

		Stimuli	
		Différent	Pareil
Réponse	Différent	*Détection correcte*	*Fausses alarmes*
	Pareil	*Omissions*	*Rejet correct*

Tableau 3. Présentation des quatre types de réponses possibles selon la théorie de la détection du signal.

La théorie de la détection du signal nous permet d'identifier un biais de réponse envers les réponses identiques ou différentes. Ce biais est mesuré par le critère de décision *c* dont la valeur est indépendante de la valeur du *d'* (Macmillan & Creelman, 2005). Le critère *c* se calcule comme suit :

$$c = -0.5 * (Z(DC) - Z(FA))$$

Un critère de décision autour de zéro indique une absence de biais (le participant fait des omissions et des fausses alarmes dans la même proportion) alors qu'un critère positif indique un biais envers une réponse identique (taux plus élevé d'omissions) et qu'un critère négatif indique un biais envers les réponses différentes (taux plus élevé de fausses alarmes).

Dans un premier temps, des analyses de la variance (ANOVA) ont été réalisées sur les *d'* moyens et sur les valeurs critère de décision moyens (c) pour chaque tâche avec la population (TSA, contrôle) et l'âge (adulte, enfant) comme facteur inter-sujets. Les tailles d'effet correspondant à la valeur Eta-deux partiel (η^2_p) représentant la proportion de variance totale attribuable au facteur en excluant les autres facteurs de la variance effet totale.

Dans un second temps des analyses développementales ont été réalisées uniquement dans les groupes enfants. Ces analyses consistent à étudier l'effet de l'âge sur les différents traitements impliqués dans les tâches. Les analyses développementales sont tout d'abord réalisées dans chacun des groupes. Une ANOVA pour chaque groupe (contrôle et TSA) avec l'âge (âge chronologique mesuré en mois) comme facteur inter-sujet a été effectuée. Cette première

analyse permet d'identifier les effets développementaux dans chacun des groupes. Ensuite, afin d'observer si les performances interagissent de façon différente avec l'âge entre les deux populations, une seconde ANOVA a été réalisée avec le groupe (contrôle et TSA) comme facteur inter-sujet. Ces analyses, dites de trajectoires transversales, sont recommandées par certains auteurs pour étudier les capacités cognitives dans les différents syndromes développementaux (Annaz, Karmiloff-Smith, Johnson, & Thomas, 2009 ; Karmiloff-Smith et al., 2004 ; Thomas et al., 2009). Elles nous permettent d'observer une différence dans les *rythmes* de développement, reflétée par une interaction entre le groupe et l'âge. Néanmoins, le nombre limité de participants dans chacun des groupes (souvent N = 13 ou N = 14) constitue une limite à cette approche. Elle permet cependant d'observer à un niveau plus fin certaines différences, et souvent de confirmer les résultats observés avec l'analyse canonique.

Chapitre 6. Le traitement global et local musical dans les troubles du spectre autistique : Etude 1

Comme nous l'avons présenté dans le Chapitre 1, les théories de la faiblesse de cohérence centrale (WCC) et la théorie du surfonctionnement perceptif (EPF) supposent un traitement supérieur des éléments locaux. Ces deux théories divergent néanmoins quant à l'origine d'un tel biais. En effet, la théorie WCC prédit un déficit du traitement global chez les personnes autistes alors que la théorie EPF prédit un surfonctionnement des traitements perceptifs de bas-niveau. Afin de confronter ces deux théories dans le domaine auditif, nous avons comparé les performances de nos deux populations sur deux tâches de discrimination musicales. Nous avons développé une tâche de discrimination mélodique (Etude 1a : discrimination de mélodies sur la base du contour ou des intervalles ; Etude 1b : discrimination de mélodies transposées) ainsi qu'une tâche de discrimination d'accords (Etude 1c).

1. Etudes 1a et 1b : Tâche de discrimination de séquences mélodiques

1.1. Participants

Pour l'Etude 1a (tâche de discrimination mélodique contour/intervalle), 27 personnes TSA et 27 personnes au développement normal ont participé. Le groupe TSA est composé de 12 adultes (10M, âge moyen = 21.15, *ET* = 6.2) et 15 enfants (14M, âge moyen = 9.5, *ET* = 6.2). Le groupe contrôle est composé de 13 adultes (7M, âge moyen = 22.2, *ET* = 4.1) et de 14 enfants (8M, âge moyen = 9.4, *ET* = 1.4).

Pour l'Etude 1b (tâche de discrimination de mélodies transposées), 27 personnes TSA et 28 personnes au développement normal ont participé. Le groupe TSA est composé de 12 adultes (10M, âge moyen = 21.15, *ET* = 6.2) et 15 enfants (14M, âge moyen = 9.5, *ET* = 6.2). Le groupe contrôle est composé de 13

adultes (7M, âge moyen = 22.2, *ET* = 4.1) et de 15 enfants (8M, âge moyen = 9.6, *ET* = 1.5).

Des descriptions détaillées de ces participants, ainsi que leur appariement, sont donnés p.77.

1.2. Stimuli

Douze mélodies de référence (voir Figure 12A) inspirées de l'étude de Peretz (1987) ont été créées avec le logiciel Finale. Toutes les mélodies sont composées de six notes et sont écrites en Do Majeur et jouées avec un timbre de piano. Toutes les notes ont la même durée et les mélodies sont jouées à un tempo de 100. Chaque mélodie dure 4500ms. Les mélodies de comparaison sont obtenues en faisant trois types de modifications sur la mélodie de référence. (i) le contour des mélodies est modifié en changeant la hauteur d'une note dans le but de modifier la direction des intervalles de la mélodie (ascendant ou descendant) (voir Figure 12B). (ii) l'intervalle entre deux notes est modifié en changeant la hauteur d'une note tout en maintenant le contour de la mélodie (voir Figure 12C). La position de la note modifiée varie sur les six positions des douze mélodies, chaque position étant utilisée deux fois. Les stimuli ont été validés dans le but de s'assurer que l'amplitude de l'intervalle précédant et l'intervalle suivant la note modifiée sont similaires dans la condition contour modifié et la condition intervalle modifié (3.2 et 4.2 vs 6 et 4.1 demi-tons respectivement). Même si l'amplitude des intervalles est, en moyenne, plus grande dans la condition intervalle que dans la condition contour, cette différence n'est pas significative, $t(11) = 1.4$, $p = .18$. (iii) une troisième condition a été créée en transposant chaque mélodie de référence, soit en augmentant chaque note d'une quinte parfaite soit en diminuant chaque note d'une quarte parfaite (voir Figure 12D). La tâche est alors d'identifier la mélodie transposée comme identique à la mélodie de référence. Les paires différentes de cette condition ont été construites en changeant deux notes, soit la deuxième et la quatrième soit la troisième et la cinquième de la mélodie transposée. Ces modifications changent le contour de la

mélodie. Les changements de note apparaissent deux fois dans chacune des positions.

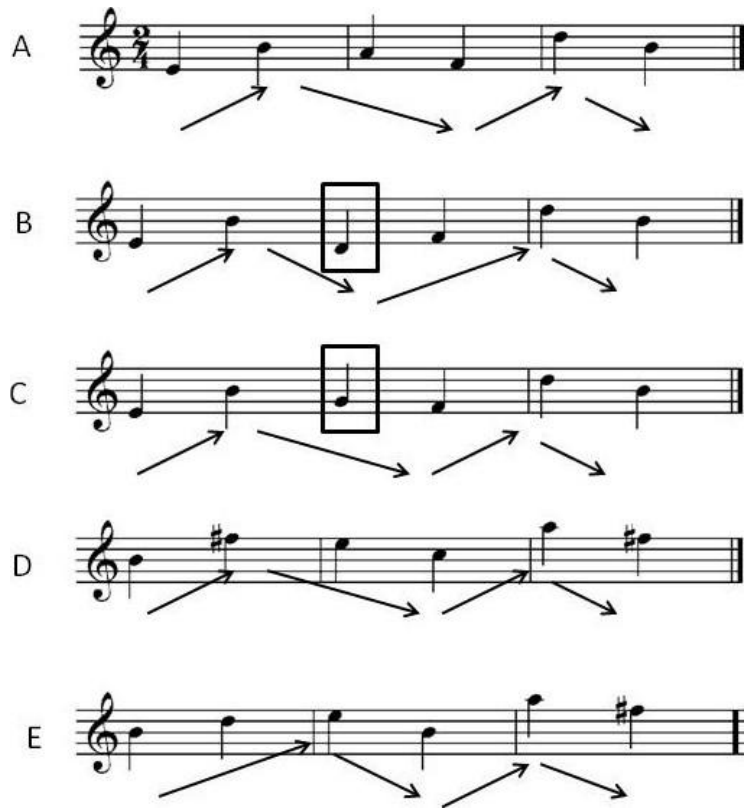


Figure 12. Exemple de mélodies utilisées pour la tâche de discrimination mélodique. A) Mélodie de référence B) Mélodie modifiée au niveau du contour C) mélodie modifiée au niveau de l'intervalle D) mélodie transposée E) mélodie transposée et modifiée. Les flèches représentent le contour de la mélodie.

1.3. Procédure

Trois blocs expérimentaux ont été créés correspondant aux 3 conditions de modification : « contour » (traitement global), « intervalle » (traitement local) et « transposé » (traitement global). Chaque bloc contient 24 paires, 12 identiques et 12 différentes. Pour ces trois blocs expérimentaux, les participants entendent la mélodie de référence suivie de la mélodie de comparaison qui peut être la même (ou transposée dans la condition transposée, Etude 1b) ou différente (modifiée soit au niveau du contour soit au niveau de l'intervalle). Les mélodies sont séparées par 1000 ms de silence. Avant chaque essai, le mot « Ecoutez » est

présenté pendant 2000 ms associé à un bip (La4) qui dure 300 ms. Pour chaque bloc, la phase d'entraînement est composée de quatre mélodies (deux paires identiques et deux paires différentes) créées spécialement pour l'entrainement.

Le but de l'Etude 1a est de manipuler le traitement global (condition contour) et le traitement local (condition intervalle). Si les participants TSA présentent un biais local, ils devraient obtenir de meilleures performances dans la condition intervalle que le groupe contrôle. Par ailleurs, s'ils présentent un déficit du traitement global, ils devraient obtenir de moins bonnes performances dans la condition contour que le groupe contrôle.

Le but de l'Etude 1b est tout d'abord d'évaluer le traitement global des participants TSA. Si les participants TSA présentent un déficit du traitement global, ils devraient moins bien réussir la tâche. Cette tâche nous permet aussi d'évaluer leurs capacités à traiter la valeur absolue des notes. Si les participants TSA ont un traitement plus absolu des notes, ils devraient présenter un taux de fausses alarmes plus important puisqu'ils devraient avoir tendance à percevoir les mélodies comme différentes lorsqu'elles sont transposées.

1.4. Résultats de l'Etude 1a : tâche de discrimination mélodique (contour/intervalle)

Deux participants (un enfant contrôle et un adulte TSA) ont été exclus des analyses car leurs performances étaient déviantes (+/−2*ET*) par rapport à leur groupe de référence. Deux ANOVAs avec le Groupe (TSA, contrôle) et l'Age (adulte, enfant) comme facteurs inter sujet et la Condition (contour, intervalle) comme facteur intra-sujet ont été conduites sur les *d'* et les critères de décision moyens. Une analyse développementale, pour observer une différence de développement entre les deux groupes, a aussi été réalisée. Une première ANOVA a été effectuée sur les *d'* dans chacun des groupes d'enfants avec le facteur Condition (contour vs intervalle) et Age (mois) comme facteur inter-sujet. Une seconde ANOVA a été conduite avec les facteurs inter-sujet Groupe

(contrôle, TSA) et Age (mois) et le facteur Condition (contour, intervalle) comme facteur intra-sujet. Les résultats sont résumés dans le Tableau 4.

1.4.1. Analyse des d'

Les analyses indiquent tout d'abord que la condition contour ($M = 2.01$, $ET = 1.07$) est globalement mieux réussie que la condition intervalle ($M = 1.12$, $ET = 0.97$), $F(1,51) = 56.73$, $p < .001$, $\eta^2_p = .53$. Nous observons aussi que les enfants ont de moins bonnes performances ($M = 1.56$, $ET = 1.11$) que les adultes ($M = 2.23$, $ET = 0.83$), $F(1,51) = 9.74$, $p < .005$, $\eta^2_p = .16$. Les analyses indiquent également que le groupe TSA ($M = 1.57$, $ET = 1.04$) présente de moins bonnes performances générales que le groupe contrôle ($M = 2.4$, $ET = 0.99$), $F(1,51) = 5.61$, $p < .05$, $\eta^2_p = .09$. Aucune interaction n'est observée entre l'âge et le groupe, $F(1,51) = 0.41$, $p = .52$. Il existe une interaction entre la condition et le groupe, $F(1,51) = 11.01$, $p < .005$, $\eta^2_p = .18$, indiquant que le groupe TSA et le groupe contrôle discriminent de façon équivalente un changement d'intervalle, $F(1,51) = 0.44$, $p = 0.50$, alors que le groupe contrôle obtient de meilleures performances dans la condition contour que le groupe TSA, $F(1,51) = 14.21$, $p < .001$. Aucune interaction entre l'âge et la condition n'est observée, $F(1,51) = .81$, $p = .37$. La double interaction entre la condition, l'âge et le groupe est significative, $F(1,51) = 7.06$, $p < .01$, $\eta^2_p = .12$, indiquant que la différence entre les conditions contour et intervalle est significative pour tous les groupes (adultes contrôles, adultes TSA, enfants contrôles : $F(1,51) = 12.82$, $p < .001$; $F(1,51) = 7.28$, $p < .01$; $F(1,51) = 61.64$, $p < .001$ respectivement) sauf pour le groupe enfant TSA, $F(1,51) = 1.68$, $p = .21$ (voir Figure 13). De plus, alors que le groupe adulte TSA obtient des performances équivalentes à celles du groupe adulte contrôle dans la condition contour, $F(1,51) = 1.67$, $p = .21$, le groupe enfant TSA obtient des performances significativement inférieures à celles du groupe enfant contrôle dans la condition contour, $F(1,51) = 18.61$, $p < .001$.

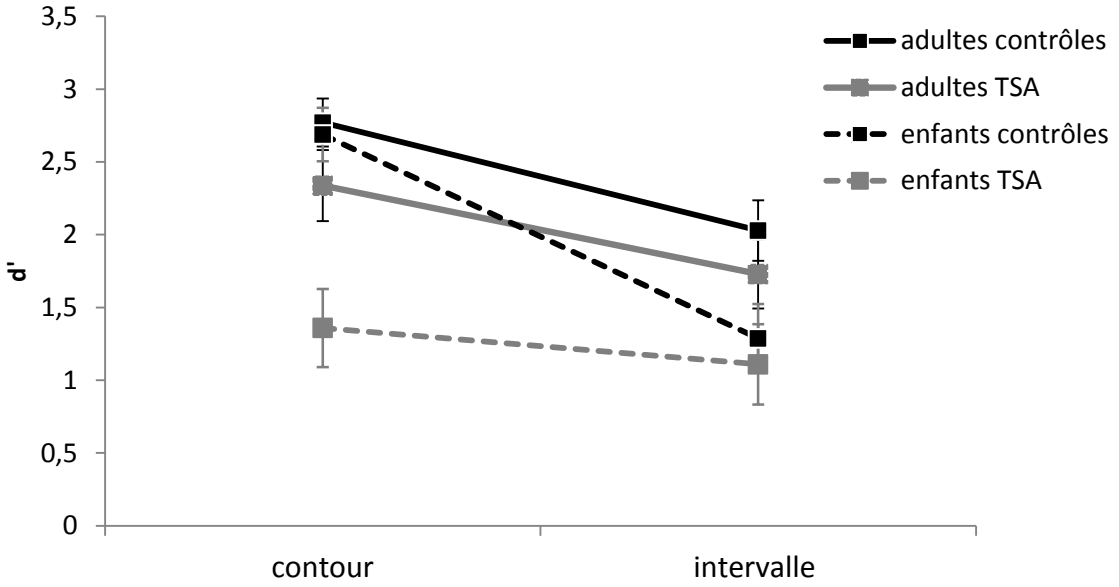


Figure 13. *d'* moyen à la tâche de discrimination mélodique pour les groupes TSA (enfant et adulte) et contrôles (enfant et adulte) en fonction des conditions contour et intervalle. Les barres représentent les erreurs standards.

1.4.2. Analyse des critères de décision

Les analyses indiquent que le critère de décision change avec l'âge $F(1,51) = 6.23$, $p < .05$, $\eta^2_p = .11$; les enfants présentent un biais de réponse envers les réponses identiques (plus d'omissions) ($M = .41$, $ET = .52$) qui tend à l'âge adulte vers une égale proportion de fausses alarmes et d'omissions ($M = .12$, $ET = .37$). On observe un biais de réponses plus élevé envers les réponses identiques dans la condition intervalle que dans la condition contour, $F(1,51) = 18.13$, $p < .001$, $\eta^2_p = .26$. Aucune interaction entre le groupe, l'âge et la condition n'est observée, $F(1,51) = 2.53$, $p = .11$.

	Contour	Intervalle
TSA (*M, ET*)		
d'	**1.77 (1.06)**	**1.37 (1.01)**
Critère	**0.17 (.51)**	**0.31 (.53)**
Adultes (*M, ET*)		
d'	2.33 (.84)	1.72 (.82)
critère	0.01 (.44)	0.17 (.51)
Enfants (*M, ET*)		
d'	1.35 (1.04)	1.10 (1.06)
critère	0.29 (.53)	0.42 (.54)
Contrôle (*M, ET*)		
d'	**2.67 (.65)**	**1.53 (.94)**
critère	**0.18 (.31)**	**0.45 (.47)**
Adultes (*M, ET*)		
d'	2.76 (.59)	2.02 (.74)
Critère	0.09 (.28)	0.21 (.32)
Enfants (*M, ET*)		
d'	2.61 (.71)	1.14 (.91)
critère	0.25 (.32)	0.64 (.51)

Tableau 4. *d'* et critère moyen à la tâche de discrimination mélodique pour les groupes TSA et contrôles en fonction des conditions contour et intervalle.

1.4.3. Analyse développementale

1.4.3.1. Analyses par groupes

Groupe contrôle. Un effet principal de la condition est observé, $F(1,14) = 9.73$, $p < .01$, indiquant que la condition contour est mieux réussie que la condition intervalle. Une interaction significative entre l'âge et les conditions contour et intervalle est observée, $F(1,14) = 4.64$, $p < .05$, indiquant une augmentation différente des performances en fonction de l'âge entre les deux conditions (voir Figure 16). Dans la condition contour, aucune augmentation des performances n'est observée avec l'âge, $F(1,14) = .11$, $p = .75$, $r^2 = .01$, alors que dans la condition intervalle les performances augmentent de façon significative avec l'âge, $F(1, 14) = 5.39$ $p = .03$, $r^2 = .27$.

Groupe TSA. Aucun effet principal de la condition n'est observé, $F(1,13) = .01$, $p = .92$, indiquant que les deux conditions sont réussies de façon équivalente par les enfants TSA. De plus, aucune interaction n'est observée entre la condition et l'âge, $F(1,13) = .014$, $p = .91$ indiquant que les performances augmentent de façon équivalente dans les deux conditions (voir Figure 16). Les performances dans la condition contour $F(1,13) = 5.57$, $p <.05$, $r^2 = .31$, ainsi que

dans la condition intervalle $F(1,13) = 4.56$, $p = .05$, $r^2 = .25$, augmentent avec l'âge.

1.4.3.2. Comparaison du groupe TSA au groupe contrôle

L'analyse indique que les performances augmentent globalement avec l'âge, $F(1,27) = 7.37$, $p = .01$. Une interaction est observée entre la condition et le groupe, $F(1,27) = 5.7$, $p = .02$. Dans la condition contour, une différence tendancielle entre le groupe contrôle et le groupe autiste est observée, $F(1,27) = 3.66$, $p = .06$, suggérant que le groupe TSA présente un retard dans le développement de la détection d'un changement de contour par rapport au groupe contrôle. Pour la condition intervalle, il n'y a pas de différence entre les deux groupes, $F(1,27) = .10$, $p = .75$, il n'y a donc pas de retard dans le développement de la détection d'un changement d'intervalle entre les deux groupes. Ainsi, aucune différence dans le rythme de développement entre les deux groupes pour le traitement des intervalles n'est observée.

Pour résumer, nous n'observons pas de supériorité du groupe autiste à discriminer un changement d'intervalle. Par conséquent, ce résultat ne va pas dans le sens de l'hypothèse d'un biais local. Aucun déficit du traitement global n'est observé, le groupe adulte TSA présente la même supériorité que le groupe contrôle à discriminer un changement de contour par rapport à un changement d'intervalle. En revanche, il semble que les enfants autistes ne détectent pas mieux un changement de contour qu'un changement d'intervalle, comme observé dans les autres groupes. Cette observation a été confirmée par l'analyse développementale. En effet, nous observons qu'à 7 ans ,les enfants contrôles ont déjà acquis la capacité à détecter un changement de contour dans une mélodie ce qui n'est pas le cas des enfants TSA. Dans les deux groupes, nous observons un développement de la capacité à percevoir un changement d'intervalles en fonction de l'âge. L'analyse sur les critères de décision nous indique qu'il n'y a pas de différence en terme de stratégies pour réaliser la tâche entre le groupe contrôle et le groupe TSA. Nous avons cependant observé que les enfants présentent de

manière générale un biais envers les réponses identiques et que la condition intervalle induit aussi un biais plus important envers les réponses identiques que la condition contour.

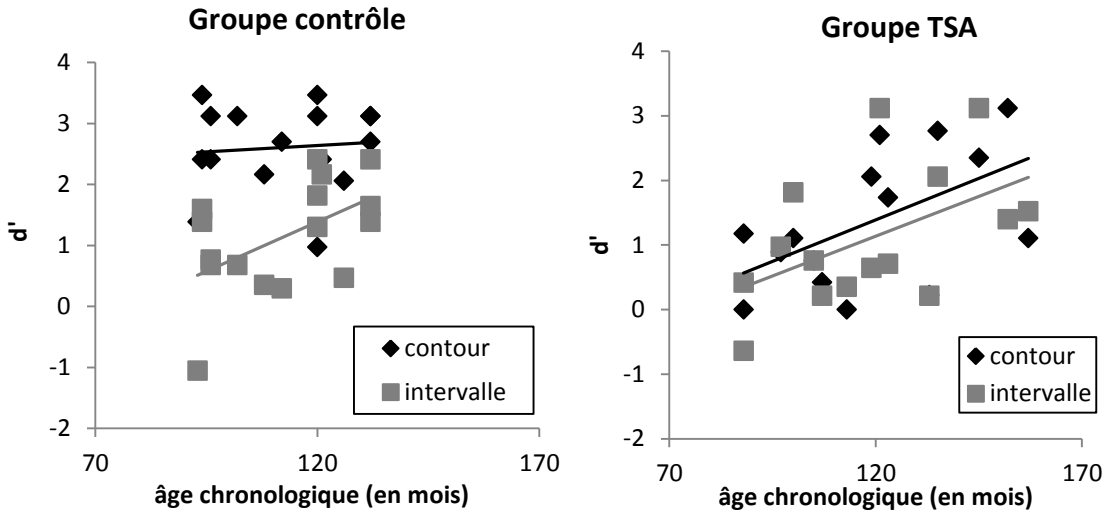


Figure 14. *d'* moyen du groupe contrôle et du groupe TSA en fonction de l'âge chronologique pour les conditions contour et intervalle.

1.5. Résultats de l'Etude 1b : tâche de discrimination de mélodies transposées

Une ANOVA avec le Groupe (autiste, contrôle) et l'Age (enfant, adulte) comme facteurs inter-groupe a été conduite sur les *d'* et sur les critères de décision moyens. Les données sont résumées dans le Tableau 5. Une analyse développementale, pour observer une différence de développement entre les deux groupes, a aussi été réalisée. Tout d'abord, deux ANOVA sur les *d' et* les critères de décision ont été effectuées dans chacun des groupes enfants avec l'Age (mois) comme facteur inter-sujet. Deux autres ANOVA ont été conduites sur les *d'* et les critères de décision avec les facteurs inter-sujet le Groupe (contrôle, TSA) et l'Age (mois).

1.5.1. Analyse des *d'*

L'analyse indique que le groupe TSA (M = .41, ET = 1.07) discrimine moins bien les mélodies transposées que le groupe contrôle (M = 1.13, ET = .89), $F(1,52) = 8.39$, $p < .005$, $\eta^2_p = .13$. De plus, les enfants (M = .54, ET = .95) ont de moins bonnes performances que les adultes (M = 1.08, ET = 1.09), $F(1,52) = 4.12$, $p < .05$, $\eta^2_p = .07$. Aucune interaction n'est observée entre le groupe et l'âge, $F(1,52) = 1.21$, $p = .27$, la différence de performance entre les enfants autistes (M = .31, ET = 1.09) et les enfants contrôles (M = .76, ET = .76) est équivalente à celle entre les adultes TSA (M = .54, ET = 1.07) et les adultes contrôles (M = 1.57, ET = .87), voir Figure 15.

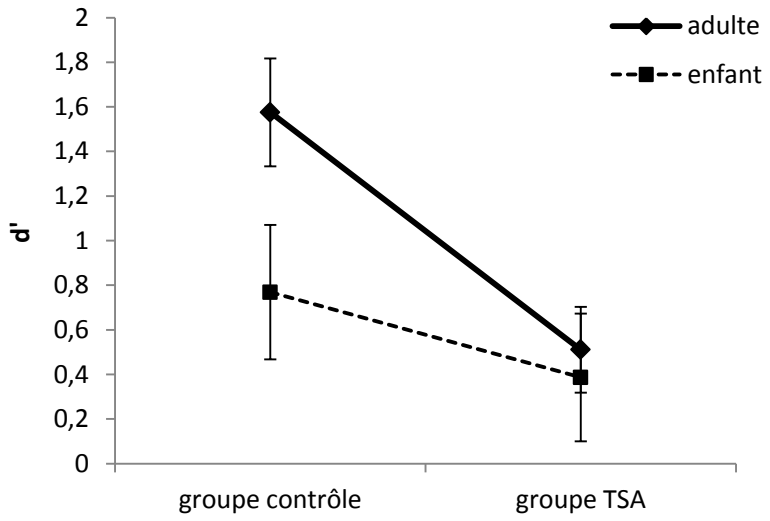


Figure 15. *d'* moyen du groupe contrôle et du groupe TSA en fonction de l'âge (adulte et enfant) à tâche de discrimination de mélodies transposées. Les barres représentent les erreurs standards.

1.5.2. Analyse des critères de décision

L'analyse des critères de décision va permettre d'observer si le groupe TSA commet plus de fausses alarmes que le groupe contrôle. L'analyse indique que le groupe contrôle a un biais envers les réponses identiques (M = .19, ET = .55), alors que le groupe TSA présente un biais envers les réponses différentes

($M = -0.17$, $ET = .49$), $F(1,52) = 6.23$, $p < .05$, $\eta^2_p = .07$. On observe aussi une interaction significative entre l'âge et le groupe, $F(1,52) = 8.93$, $p < .005$, $\eta^2_p = .14$. Cette interaction indique que cette différence de stratégie ne s'observe que chez les enfants. En effet, les enfants TSA ont un biais envers les réponses différentes ($M = -.39$, $ET = .51$) alors que les contrôles ont un biais envers les réponses identiques ($M = .33$, $ET = .57$). Les adultes contrôles ($M = .02$, $ET = .51$) et TSA ($M = .09$, $ET = .31$) ont la même stratégie pour réaliser la tâche (i.e., une proportion équivalente d'omissions et de fausses alarmes).

	Transposition
TSA (*M, ET*)	
d'	**0.41 (1.07)**
Critère	**−0.17 (.49)**
Adultes (*M, ET*)	
d'	0.54 (1.07)
critère	0.09 (.31)
Enfants (*M, ET*)	
d'	0.31 (1.09)
critère	−0.39 (.51)
Contrôle (*M, ET*)	
d'	**1.13 (.89)**
critère	**0.19 (.55)**
Adultes (*M, ET*)	
d'	1.57 (.87)
Critère	0.02 (.51)
Enfants (*M, ET*)	
d'	0.76 (.76)
critère	0.33 (.57)

Tableau 5. *d'* et critère moyen la tâche de discrimination de mélodies transposées pour les groupes TSA et contrôles.

1.5.3. Analyse développementale

1.5.3.1. Analyse par groupes

Pour le groupe contrôle et le groupe TSA, aucune augmentation des performances n'est observée avec l'âge, $F(1,14) = .02$, $p = .87$, $r^2 = .01$, et $F(1,13) = .62$, $p = .44$, $r^2 = .001$, respectivement. Pour les critères de décision, une

réduction du biais de réponse envers les réponses identiques avec l'âge est observée dans le groupe contrôle $F(1,14) = 9.7$, $p < .01$, $r^2 = .4$, alors qu'aucune modification du critère de décision n'est observée avec l'âge dans le groupe TSA $F(1,13) = .57$, $p = .46$, $r^2 = .04$.

1.5.3.2. Comparaison des deux groupes.

Pour les d', aucune différence n'est observée entre le groupe contrôle et le groupe TSA, $F(1,27) = .02$, $p = .88$. Pour les critères de décision, une différence existe entre les deux groupes, $F(1,27) = 7.46$, $p < .01$, indiquant que le groupe contrôle présente un biais en faveur des réponses identiques (plus d'omissions) dès le plus jeune âge alors que le groupe autiste présente lui un biais en faveur des réponses différentes (plus de fausses alarmes). Avec l'âge, ce critère semble tendre vers un ratio égal de fausses alarmes et d'omissions dans les deux groupes, $F(1,27) = 3.62$, $p = .06$ (voir Figure 16).

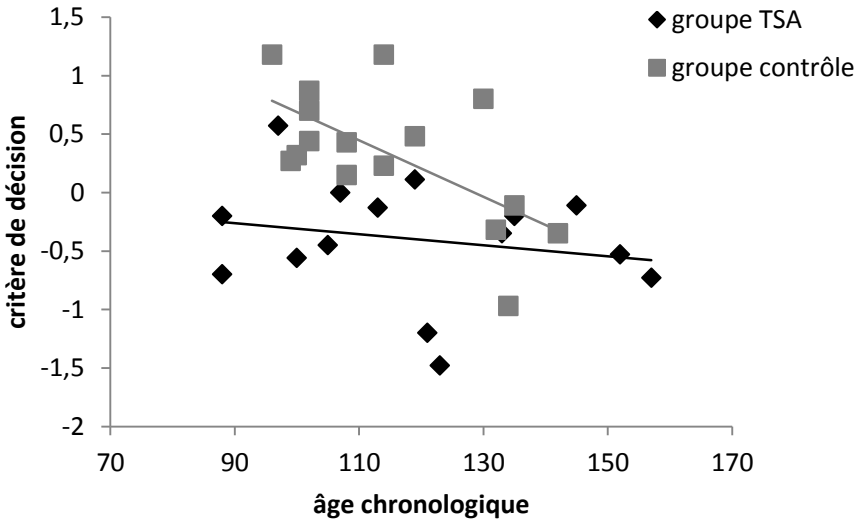


Figure 16. Critère de décision à la tâche de discrimination de mélodies transposées pour le groupe TSA et le groupe contrôle en fonction de l'âge chronologique (en mois).

Ainsi les résultats à cette tâche de discrimination de mélodies transposées indiquent que le groupe TSA fait plus de fausses alarmes que le groupe contrôle.

Ce taux élevé de fausses alarmes pourrait en partie expliquer leurs faibles performances à cette tâche. De plus, les performances chez les enfants dans les deux groupes ne semblent pas augmenter avec l'âge indiquant que la reconnaissance de mélodie transposée est un traitement qui se développe assez tardivement dans les deux populations.

Nous allons maintenant présenter les résultats à la tâche de discrimination d'accords. Cette tâche présente l'intérêt par rapport à la tâche mélodique d'utiliser des stimuli courts. La réalisation de cette tâche est donc moins coûteuse en termes de mémoire de travail. Ce point nous semble particulièrement important puisque Heaton (2005) émet l'hypothèse que la tâche contour/intervalle serait trop coûteuse en capacité de mémoire de travail, du fait de mélodies trop longues, et pourrait donc expliquer l'absence de différence observée entre le groupe contrôle et le groupe autiste. Cette tâche de discrimination d'accords permet donc de manipuler le traitement global et local tout en minimisant l'impact de la mémoire de travail.

2. Etude 1c : Tâche de discrimination d'accords

2.1. Participants

Vingt-sept personnes TSA et 27 personnes au développement normal ont participé à cette étude. Le groupe TSA est composé de 12 adultes (10M, âge moyen = 21.15, *ET* = 6.2) et 15 enfants (14M, âge moyen = 9.5, *ET* = 6.2). Le groupe contrôle est composé de 13 adultes (7M, âge moyen = 22.2, *ET* = 4.1) et de 14 enfants (8M, âge moyen = 9.4, *ET* = 1.4). Une description détaillée de ces participants ainsi que leur appariement, sont donnés p.77.

2.2. Stimuli

Les accords utilisés dans cette tâche sont composés de 4 notes : la fondamentale, la tierce majeure, la quinte et la fondamentale jouée à l'octave

supérieure. Par exemple, un accord de Do majeur sera constitué de la note Do, de sa tierce Mi, de sa quinte Sol et de la fondamentale à l'octave supérieure Do (voir Figure 17). Les accords ont une durée de 500 ms et sont présentés par paires. Quatre accords ont été sélectionnés sur la base des données d'une étude pré-test : Mi majeur, Do majeur, Fa majeur et Sol majeur. Pour créer les paires différentes, une note est enlevée de cet accord, cette note pouvant être la tierce ou la quinte.

2.3. Procédure

Chaque condition expérimentale (tierce ou quinte) est composée de 12 essais (48 essais en tout). Les accords sont séparés de 1000 ms de silence. Avant chaque essai, le mot « Ecoutez » est présenté pendant 2000 ms associé à un bip (la4), durant 300 ms. Le premier accord de la paire est toujours l'accord de référence. Dans les paires différentes, le second accord est toujours le même, diminué soit d'une tierce ou d'une quinte. Dans les paires différentes, le second accord peut être un accord sans une quinte ou bien sans une tierce. La session d'entraînement est composée de 8 essais (4 identiques et 4 différents). Pour cette session, des accords spécifiques ont été créés (Si bémol majeur et Ré majeur).

Cette tâche a pour but d'évaluer si les participants TSA présentent une capacité supérieure à traiter l'information locale dans une tâche musicale utilisant des stimuli courts. La quinte étant une redondance de la fondamentale au niveau harmonique ; son absence est plus difficile à percevoir que la tierce. Nous faisons donc l'hypothèse que si les participants autistes ont un biais de traitement envers l'information locale, ils devraient mieux percevoir cette note manquante. Les participants contrôles, qui sont plus sensibles à l'information globale, devraient moins bien percevoir cette note manquante de l'accord.

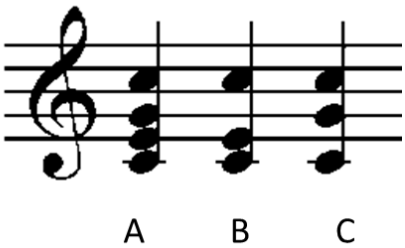


Figure 17. Exemples d'accords utilisés dans la tâche. A) accord de référence, B) accord sans la quinte, C) accord sans la tierce.

2.4. Résultats

Deux enfants contrôles ont été exclus des analyses, leurs réponses étaient toujours « identiques ». Deux ANOVAs avec le Groupe (autiste, contrôle) et l'Age (adulte, enfant) comme facteurs inter-sujets et la Condition (tierce, quinte) comme facteur intra-sujet ont été conduites sur les *d'* et les critères de décision moyens. Les résultats sont résumés dans le Tableau 6. Une analyse développementale a aussi été réalisée pour évaluer une différence de développement entre les deux groupes. Tout d'abord une ANOVA a été menée sur les *d'* dans chacun des groupes enfant avec le facteur Condition (quinte, tierce) comme facteur intra-sujet et l'Age (mois) comme facteur inter-sujet. Une seconde ANOVA a été conduite avec les facteurs inter-sujet le Groupe (contrôle, TSA) et l'Age (mois) et comme facteur intra-sujet la Condition (quinte, tierce). Les résultats sont résumés dans le Tableau 4.

2.4.1. Analyse des *d'*

L'analyse indique des performances supérieures dans la condition tierce ($M = 1.97$, $ET = .83$) par rapport à la condition quinte ($M = 1.36$, $ET = .19$), $F(1,50) = 59.3$, $p < .001$, $\eta^2_p = .54$. Les enfants ($M = 1.21$, $ET = 1.15$) ont de moins bonnes performances que les adultes ($M = 2.19$, $ET = .83$), $F(1,50) = 13.82$, $p < .001$, $\eta^2_p = .21$. Aucune différence entre les groupes contrôle et TSA n'est

observée $F(1,50) = .34$, $p = .55$, $\eta^2_p = .01$. L'interaction attendue entre la condition et le groupe n'est pas observée, $F(1,50) = .35$, $p = .55$, (voir Figure 18).

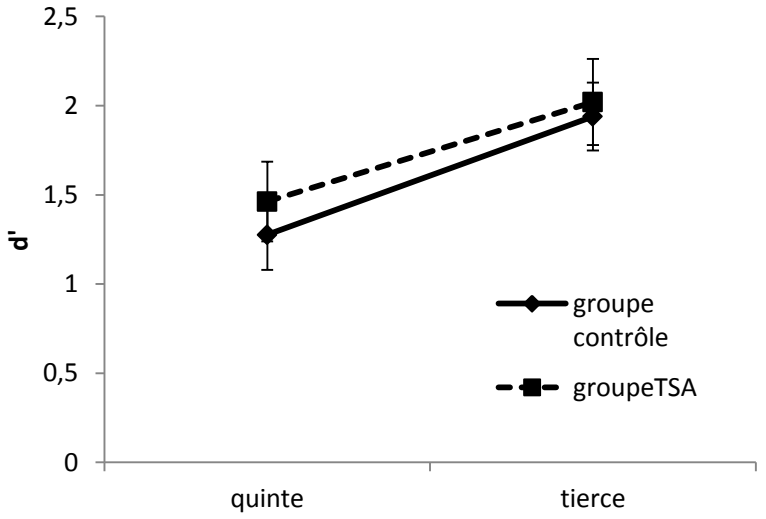


Figure 18. *d'* moyen à la tâche de discrimination d'accords pour le groupe contrôle et le groupe TSA dans les conditions quinte et tierce. Les barres représentent les erreurs standards.

2.4.2. Analyse des critères de décision

L'analyse indique que les participants font globalement plus d'omissions (biais envers les réponses identiques) dans la condition quinte ($M = .41$, $ET = .46$) que dans la condition tierce ($M = .11$, $ET = .37$), $F(1,50) = 53.3$, $p < .001$, $\eta^2_p = .54$. Les enfants ($M = .35$, $ET = .49$) ont un biais de réponse envers les réponses « identiques » par rapport aux adultes ($M = .15$, $ET = .31$), $F(1,50) = 3.91$, $p = .05$, $\eta^2_p = .07$. Une interaction est observée entre l'âge et le groupe, $F(1,50) = 4.04$, $p < .05$, $\eta^2_p = .07$. Alors que les enfants et les adultes TSA ont la même stratégie pour réaliser cette tâche, ce n'est pas le cas pour les adultes et les enfants contrôles, $F(1,50) = 8.01$, $p < .01$. En effet, les enfants contrôles ont un biais de réponse envers les réponses identiques, évoluant à l'âge adulte vers un ratio équivalent de fausses alarmes et d'omissions. Les enfants et les adultes TSA présentent eux un égal ratio de fausses alarmes et d'omissions.

	Quinte	Tierce
TSA (*M, ET*)		
d'	**1.42 (1.16)**	**2.02 (1.25)**
Critère	**0.39 (.43)**	**0.11 (.36)**
Adultes (*M, ET*)		
d'	1.86 (.97)	2.49 (1.21)
critère	0.41 (.38)	0.09 (.27)
Enfants (*M, ET*)		
d'	1.14 (1.23)	1.64 (1.19)
critère	0.37 (.47)	0.13 (.42)
Contrôle (*M, ET*)		
d'	**1.27 (1.01)**	**1.93 (.98)**
critère	**0.43 (.49)**	**0.9 (.38)**
Adultes (*M, ET*)		
d'	1.92 (.64)	2.5 (.33)
Critère	0.19 (.41)	−0.09 (.24)
Enfants (*M, ET*)		
d'	0.67 (.93)	1.41 (1.11)
critère	0.64 (.48)	0.27 (.41)

Tableau 6. *d'* et critères moyens à la tâche de discrimination d'accords pour les groupes TSA et contrôles en fonction des conditions quinte et tierce.

2.4.3. Analyse développementale

2.4.3.1. Analyses par groupes

Groupe contrôle. Un effet principal de la condition est observé, $F(1,12) = 13.47$, $p < .005$, indiquant que les performances sont plus élevées dans la condition tierce que dans la condition quinte. Une interaction est observée entre l'âge et la condition indiquant que ces deux capacités ne se développent pas au même rythme dans ce groupe, $F(1,12) = 7.7$, $p < .05$. Cependant, les performances n'augmentent pas avec l'âge ni dans la condition quinte, $F(1,12) = .54$, $p = .41$, $r^2 = .04$, ni dans la condition tierce, $F(1,12) = .091$, $p = .78$, $r^2 = .01$.

Groupe TSA. Aucune interaction n'est observée entre les conditions et l'âge, $F(1,13) = 2.8$, $p = .12$, suggérant que le rythme de développement de la détection d'une tierce ou d'une quinte est le même dans ce groupe. Les performances augmentent de façon tendancielle avec l'âge, dans la condition tierce, $F(1,13) = 3.95$, $p = .06$, $r^2 = .23$, mais pas dans la condition quinte, $F(1,13) = 1.33$, $p = .27$, $r^2 = .01$.

2.4.3.2. Comparaison des groupes contrôle et TSA

L'analyse indique une interaction significative entre les conditions et le groupe, $F(1,25) = 10.6$, $p < .005$. Le groupe contrôle réussit mieux la condition tierce que la condition quinte alors que le groupe TSA réussit de façon équivalente les deux conditions. Aucune différence n'est observée entre le groupe contrôle et le groupe autiste que ce soit dans la condition quinte, $F(1,25) = .01$, $p = .99$ ou dans la condition tierce, $F(1,25) = .02$, $p = .88$. Ainsi, l'âge de développement semble équivalent pour les deux conditions entre les deux groupes. De plus, une double interaction entre l'âge, le groupe et la condition est observée, $F(1,25) = 9.45$, $p < .005$, indiquant que les deux groupes n'ont pas les mêmes rythmes de développement dans les deux conditions. Ainsi, il semble que les enfants contrôles acquièrent plus tardivement la capacité à détecter la quinte manquante d'un accord.

Les résultats à la tâche de discrimination d'accords ne permettent pas de confirmer l'hypothèse d'un traitement local accru de la perception harmonique dans l'autisme. Ainsi, les participants TSA comme les participants contrôles arrivent mieux à identifier l'absence de la tierce que de la quinte dans un accord. En revanche, l'analyse développementale indique que les enfants contrôles acquièrent plus lentement la capacité à détecter la quinte que la tierce dans un accord alors que les enfants TSA présentent le même rythme de développement dans les deux conditions. Ces résultats suggèrent que les enfants contrôles sont plus sensibles à la forme globale d'un accord que les enfants TSA. L'analyse des critères de décisions confirme cette hypothèse puisque les enfants contrôles présentent un biais envers les réponses identiques qui disparait à l'âge adulte alors que ce biais n'est pas présent chez les enfants TSA.

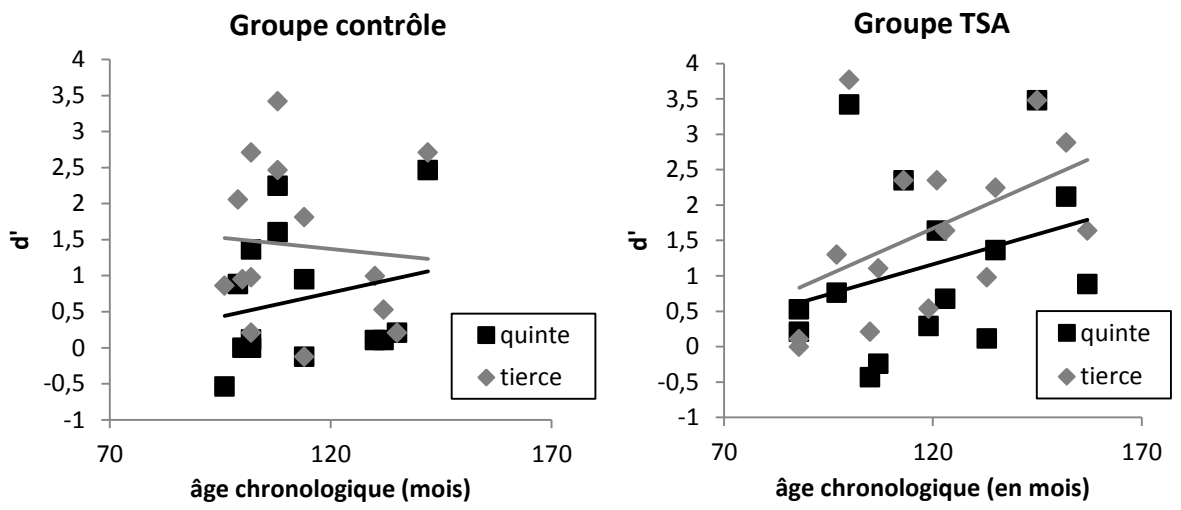


Figure 19. *d' moyen* à la tâche de discrimination d'accords des groupe contrôle et TSA aux conditions quinte et tierce en fonction de l'âge chronologique (en mois).

3. Discussion de l'Etude 1

Dans l'Etude 1a, en manipulant le contour de la mélodie (impliquant un traitement global) ou bien les intervalles entre les notes (impliquant le traitement local) nous n'avons pas observé le biais local attendu, c'est à dire des performances supérieures dans la condition intervalle. Cette absence de biais local rejoint les résultats d'autres études qui ont utilisé le même paradigme (Foxton, et al., 2003 ; Heaton, 2005). Il est donc possible que la tâche utilisée ne soit pas assez sensible pour laisser apparaitre un éventuel traitement supérieur de l'information locale chez les personnes autistes. Nous avons également observé que les adultes TSA discriminaient mieux un changement de contour qu'un changement d'intervalle. Ainsi, il semble que le traitement global soit préservé dans ce groupe, allant dans le sens de nombreux résultats en audition (Foxton, et al., 2003 ; Heaton, 2005 ; Heaton, et al., 2007 ; Mottron, et al., 2000). Par conséquent, ces résultats ne vont pas dans le sens de la théorie WCC (Frith, 1989), qui suppose un déficit du traitement global dans l'autisme. Nous avons aussi observé que les enfants TSA ne présentaient pas cet avantage du traitement global. L'analyse développementale indique que le traitement global, déjà acquis dans le groupe contrôle, se développe plus tardivement avec l'âge dans le groupe TSA, tout comme le traitement local. Ces résultats pourraient

donc indiquer que les enfants TSA portent plus particulièrement leur attention sur les éléments locaux et que l'information globale devient prédominante plus tardivement pour eux. Les résultats relatifs au développement des enfants typiques confirment ce qui a déjà été observé dans plusieurs études: le traitement global au niveau mélodique est acquis assez tôt (Trehub, 2001, 2003) alors que le traitement local se développe plus tardivement. Cependant, cette étude est la première à mettre en évidence le développement de ces processus dans la population typique et le retard de développement du traitement global dans la population autiste.

Par ailleurs, les résultats à l'Etude 1b (tâche de discrimination de mélodies transposées) indiquent que les participants TSA traitent de façon plus absolue la hauteur des notes. En effet, l'analyse des critères de décision indique que le groupe TSA fait plus de fausses alarmes (percevoir que les mélodies sont différentes alors qu'elles sont identiques) alors que le groupe contrôle fait plus d'omissions (biais envers les réponses identiques). Cette différence de stratégie semble plus particulièrement vraie chez les enfants. Ce biais semble disparaitre avec l'âge chez les enfants contrôles alors que le biais envers les réponses différentes n'évolue pas avec l'âge dans le groupe TSA. Ces résultats indiquent donc que le groupe TSA traite la hauteur des notes de façon plus absolue que le groupe contrôle puisqu'il est moins sensible à la forme globale de la mélodie. Ces résultats mettent donc en avant la capacité à traiter de façon absolue les notes, ce qui n'avait été observé précédemment (Mottron et al., 2000).

Dans l'Etude 1c, nous avons manipulé la quinte et la tierce de l'accord afin de déterminer si les personnes TSA percevaient mieux la note manquante d'un accord moins facilement perceptible (la quinte de l'accord) que le groupe contrôle. Nous n'avons pas observé de différence entre les groupes mais l'analyse développementale indique que la capacité à détecter la quinte manquante d'un accord serait un processus plus long à développer que la détection de la tierce pour le groupe contrôle. Les enfants TSA montrent le même développement de ces capacités. Il apparait donc que les enfants contrôles ont plus de difficulté à détecter une différence liée à une note moins facilement perceptible que les

enfants TSA. Comme dans la tâche de discrimination mélodique (Etude 1a), nous observons un avantage du traitement global puisque le groupe TSA, comme le groupe contrôle, perçoit moins bien la tierce manquante dans l'accord, étant ainsi sensible à la redondance harmonique c'est-à-dire à la forme globale de l'accord. Cependant, il semble que cette tâche ne soit pas suffisamment sensible pour mettre en évidence une différence de traitement entre le groupe autiste et TSA. Il est donc possible qu'en augmentant la difficulté de la tâche, c'est-à-dire en rendant les accords plus complexes en rajoutant des notes, une différence de performances puisse être observée entre les deux groupes.

Ces résultats suggèrent donc que le traitement global des personnes autistes est préservé, puisqu'elles discriminent aussi bien un changement de contour que des personnes contrôles. Nous avons cependant mis en évidence que le traitement global musical des personnes autistes se développe plus lentement que dans la population typique. Nous avons aussi également mis en évidence que les enfants TSA sont moins sensibles à la forme globale d'un accord, ce résultat pouvant être interprété comme un biais envers le traitement local. Ces résultats ne semblent donc pas en accord avec la théorie WCC ni avec la théorie EPF puisqu'un biais de traitement envers l'information locale n'a pas été clairement observé dans cette étude.

Une autre façon de départager ces deux théories est d'évaluer si un traitement auditif de plus bas niveau influe sur les performances de plus haut niveau comme prédit par la théorie EPF (Mottron, et al., 2006). Par conséquent, nous allons tout d'abord explorer les capacités de discrimination sur trois composantes acoustiques : fréquence, intensité et durée. Un traitement supérieur de ces trois dimensions n'a pas toujours été observé (e.g., Jones, et al., 2009) cependant certaines études observent un traitement particulier de la part des personnes TSA sur des dimensions autre que celle de la fréquence (Bruneau, et al., 2003 ; Khalfa, et al., 2004).

Chapitre 7. Le traitement auditif dans les TSA et son impact sur les traitements de plus haut niveaux : Etude 2

Dans ces études, nous avons voulu tester l'hypersensibilité auditive des participants TSA via trois tâches de discrimination auditive: fréquence (Etude 2a), durée (Etude 2b), intensité (Etude 2c). De plus, la théorie du surfonctionnement perceptif (EPF, Mottron et al., 2006) postule une plus grande implication des processus de bas-niveau dans les processus de plus haut niveau. Nous avons voulu tester l'impact de cette hypersensibilité auditive sur les capacités de discrimination mélodique, testées dans l'Etude 1.

1. Participants

Etude 2a (tâche de discrimination de fréquences) : 27 participants TSA et 27 participants au développement normal ont participé à cette étude. Le groupe TSA est composé de 12 adultes (10M, âge moyen = 21.15, *ET* = 6.2) et 15 enfants (14M, âge moyen = 9.5, *ET* = 6.2). Le groupe contrôle est composé de 13 adultes (7M, âge moyen = 22.2, *ET* = 4.1) et de 14 enfants (8M, âge moyen = 9.4, *ET* = 1.4).

Etude 2b (tâche de discrimination de durée) : 27 participants TSA et 28 participants au développement normal ont participé à cette étude. Le groupe TSA est composé de 12 adultes (10M, âge moyen = 21.15, *ET* = 6.2) et 15 enfants (14M, âge moyen = 9.5, *ET* = 6.2). Le groupe contrôle est composé de 13 adultes (7M, âge moyen = 22.2, *ET* = 4.1) et de 15 enfants (9M, âge moyen = 9.2, *ET* = 0.9).

Etude 2c (tâche de discrimination d'intensité) : 27 personnes TSA et 28 personnes au développement normal ont participé à cette étude. Le groupe TSA est composé de 12 adultes (10M, âge moyen = 21.15, *ET* = 6.2) et 15 enfants (14M, 1F, âge moyen = 9.5, *ET* = 6.2). Le groupe contrôle est composé de 13 adultes (7M, âge moyen = 22.2, *ET* = 4.1) et de 15 enfants (8M, âge moyen = 9.6, *ET* = 1.5).

Des descriptions détaillées de ces participants, ainsi que leur appariement, sont donnés p.77.

2. Stimuli

Fréquences. Seize sons purs d'une fréquence variable et de durée et d'intensité fixes de 100 ms et 60dB respectivement, ont été créés grâce au logiciel Audacity. Parmi ces sons, quatre constituent les sons de référence : 500, 750, 1000, 1500 Hz. Les 12 autres sons purs ont été créés à partir des sons de référence, en augmentant de 1, 2, 3 ou 4% leurs valeurs fréquentielles. Pour chaque valeur de fréquence il y a donc quatre paires différentes. Par exemple, les sons à comparer au son de 500Hz seront de fréquence 505, 510, 515 et 520 Hz. Les différents sons sont présentés par paires, ainsi quatre paires de stimuli ont été présentées pour chacun des sons de référence.

Durée. Six sons purs de durée variable et de fréquence et d'intensité fixes de 750 Hz et 60dB respectivement ont été créés avec le logiciel Audacity. Chacun de ces sons a une durée différente : 200 ms (le stimulus standard), 192 ms, 184 ms, 176 ms, 168 ms ou 160 ms. Les sons sont présentés par paires. La différence de durée entre les stimuli d'une paire peut être de : 8, 16, 24, 32 ou 40 ms.

Intensité. Six sons purs d'intensité variable mais de fréquence et d'intensité fixes (1000 Hz et 60dB respectivement) ont été créés. Le stimulus standard est présenté à une intensité de 60dB. Les cinq autres sons ont une intensité de : 59, 58, 57, 56 et 55 dB. Les sons sont présentés par paire. La différence d'intensité entre les stimuli d'une paire peut être de : 1, 2, 3, 4 et 5 dB.

Les caractéristiques des différents stimuli utilisés dans les tâches de discrimination de fréquence, de durée et d'intensité sont résumées dans le Tableau 7.

	Fréquence	Intensité	Durée
Stimuli de référence	500 ; 750 ; 1000 ; 1500 Hz	60 dB	200 ms
Stimuli le plus éloigné	515 ; 772,5 ; 1030 ; 1545 Hz	56 dB	160 ms
Intervalle entre les stimuli	Augmentation de 1, 2, 3 et 4 %	1 dB	8 ms
Nombre d'intervalles	4	5	5
fréquence	Variable	1000 Hz	750 Hz
intensité	60 dB	variable	60 dB
durée	100 ms	100ms	variable

Tableau 7. Propriétés physiques des stimuli utilisés pour les tâches de discrimination auditive.

3. Procédure

Les sons sont présentés par paires. Le premier son présenté est toujours le son de référence (voir Tableau 7). Dans l'Etude 2a (tâche de discrimination fréquentielle) le son de référence peut prendre une des valeurs suivantes : 500, 750, 1000 et 1500 Hz. Dans l'Etude 2b (tâche de discrimination de durée), le son de référence a une valeur de 200ms, et dans l'Etude 2c (tâche de discrimination d'intensité), il a une valeur de 60dB. La valeur du second stimulus de chaque paire peut prendre de façon aléatoire une des quatre valeurs de fréquence possible dans la tâche de discrimination fréquentielle ou bien une des cinq valeurs de durée ou d'intensité possibles dans les tâches de discrimination de durée et d'intensité. Les sons sont identiques dans la moitié des essais. Dans l'autre moitié, les sons de comparaison peuvent être plus aigus (1% à 4% de différence), ou plus longs (cinq conditions de durée) ou plus forts (cinq conditions d'intensité). Chaque son est présenté 8 fois dans un ordre aléatoire. Dans la tâche de discrimination de fréquence, il y a donc 64 essais en tout (32 différents et 32 identiques). Dans les tâches de discrimination de durée et d'intensité, il y a 80 essais en tout (40 différents et 40 identiques). Les stimuli d'une paire sont séparés d'un silence de 1500 ms, et les essais sont séparés d'un silence de 2000 ms. Les essais peuvent être difficiles (stimuli proches sur une dimension particulière, par exemple paires de stimuli de 200 ms et 192 ms) ou bien plus faciles (stimuli plus éloignés sur une dimension particulière, par exemple paire

de stimuli de 200 et de 160ms). Durant la phase d'entrainement, pour chaque condition de difficulté, 8 essais (4 identiques et 4 différents) sont présentés. Les essais sont présentés en ordre de difficulté croissante en commençant par la condition la plus facile. Le passage entre chaque condition est indiqué par un texte : « attention ça devient plus difficile ! ». Pour la condition test, les participants sont prévenus que toutes les conditions de difficulté sont mélangées. Pour les enfants, une pause est proposée à la moitié des essais.

Il est attendu, si les personnes TSA présentent une hypersensibilité auditive, qu'elles obtiennent des performances supérieures à celles des personnes contrôles dans ces trois études.

4. Résultats

4.1. Résultats à l'Etude 2a : Tâche de discrimination de fréquences

Deux participants ont été exclus des analyses (un adulte TSA et un enfant contrôle) car leurs scores étaient déviants par rapport à leur groupe (+/− 2 *ET*). Les données sont résumées dans le Tableau 8. Deux ANOVAs avec le Groupe (TSA, contrôle) et l'Age (adulte, enfant) comme facteurs inter-sujets et la Condition (1%, 2%, 3% et 4 %) comme facteur intra-sujet sur les *d'* et les critères de décision ont été réalisées. Une analyse développementale a ensuite été réalisée sur les performances des enfants TSA et contrôles pour tester une éventuelle différence développementale entre les deux groupes. Pour identifier un effet développemental, une ANOVA a été réalisée sur les performances moyennes dans chacun des groupes avec l'âge chronologique comme facteur inter-sujet. Une seconde ANOVA a été réalisée avec le Groupe (TSA vs contrôle) comme facteur inter-sujet, pour identifier une différence dans le rythme de développement.

	1%	2%	3%	4%
TSA				
***d'*(*M, ET*)**	**0.89 (.71)**	**1.73 (1.23)**	**1.99 (1.44)**	**2.28 (1.25)**
critère (*M, ET*)	**0.75 (.61)**	**0.33 (.46)**	**0.21 (.38)**	**0.05 (.26)**
Adultes				
d'(*M, ET*)	1.16 (.79)	2.05 (1.25)	2.41 (1.49)	2.69 (1.14)
critère (*M, ET*)	0.88 (.49)	0.43 (.49)	0.26 (.23)	0.11 (.24)
Enfants				
d'(*M,ET*)	0.69 (.58)	1.50 (1.20)	1.68 (1.38)	1.99 (1.28)
critère (*M, ET*)	0.65 (.67)	0.25 (.44)	0.16 (.46)	0.01 (.28)
Contrôles				
***d'*(*M, ET*)**	**0.70 (.71)**	**1.41 (1.06)**	**1.77 (1.20)**	**1.92 (1.34)**
critère (*M, ET*)	**0.75 (.53)**	**0.39 (.50)**	**0.21 (.48)**	**0.14 (.37)**
Adultes				
d'(*M, ET*)	1.01 (.76)	1.81 (.89)	2.18 (.95)	2.35 (.92)
critère (*M, ET*)	0.75 (.36)	0.35 (.37)	0.17 (.47)	0.09 (.33)
Enfants				
d'(*M, ET*)	0.98 (.51)	1.02 (1.09)	1.37 (1.31)	1.49 (1.57)
critère (*M, ET*)	0.75 (.68)	0.43 (.61)	0.25 (.51)	0.19 (.41)

Tableau 8. Résultats (*d'* et critère moyen) obtenus pour la tâche de discrimination de fréquences pour les groupes TSA et contrôles en fonction de l'âge et des conditions 1%, 2%, 3% et 4%.

4.1.1. Analyse des d'

Les analyses indiquent que les performances augmentent en fonction de la condition, $F(3,144) = 48.75$, $p < .001$, $\eta^2_p = .50$ et que les adultes ($M = 1.9$, $ET = 1.01$) réussissent mieux la tâche que les enfants ($M = 1.28$, $ET = 1.15$), $F(1,48) = 6.2$, $p < .05$, $\eta^2_p = .11$. Aucune différence entre les deux groupes n'est observée (TSA : $M = 1.72$, $ET = 1.13$; contrôle : $M = 1.45$, $ET = 1.13$, $F(1,48) = 1.34$, $p = .25$). De plus, nous n'avons pas observé d'interaction entre les groupes et les conditions, $F(3,144) = .26$, $p = .84$ (voir Figure 20).

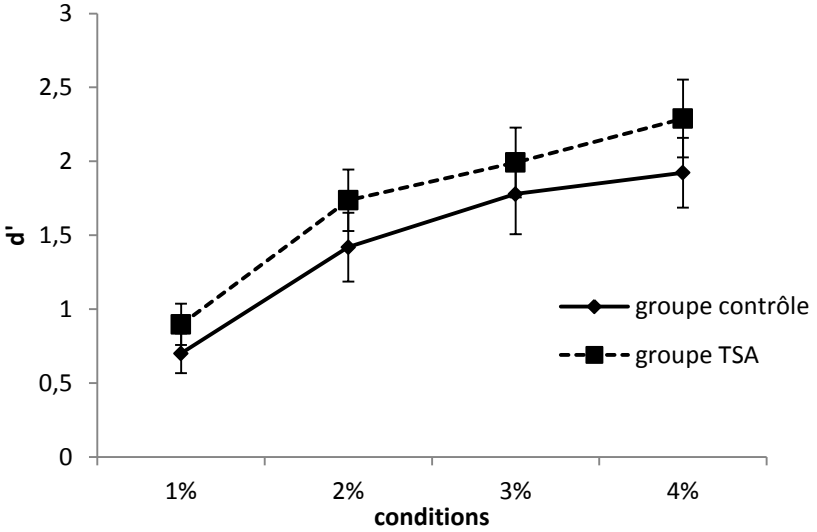


Figure 20. *d'* moyens à la tâche de discrimination de fréquences observés pour les groupes contrôle et TSA en fonction des 4 conditions expérimentales : 1, 2, 3 et 4%. Les barres représentent les erreurs standards.

4.1.2. Analyse des critères de décision

L'ANOVA conduite sur les critères de décision indique uniquement un biais de réponse en faveur des réponses identiques dans la condition 1% ($M = .75$, $ET = .56$), indiquant une plus grande difficulté à percevoir une différence entre les stimuli dans cette condition. Ce biais dans les autres conditions tend vers un égal ratio de fausses alarmes et d'omissions, $F(3,144) = 45.75$, $p < .001$, $\eta^2_p = .50$. Aucune différence entre les groupes n'est observée ($p > .05$). Les deux groupes utilisent donc la même stratégie pour réaliser cette tâche (voir Tableau 8).

4.1.3. Analyse développementale

Les analyses indiquent que les performances n'augmentent avec l'âge ni dans le groupe TSA, $F(1,13) = 0.20$, $p = .65$, $r^2 = .01$, ni dans le groupe contrôle, $F(1,11) = 0.57$, $p = .46$, $r^2 = .04$. Nous n'avons pas non plus observé d'interaction entre le groupe et l'âge, $F(1,24) = 0.12$, $p = .73$ soulignant un rythme de développement similaire du traitement de la fréquence dans les deux groupes (voir Figure 21).

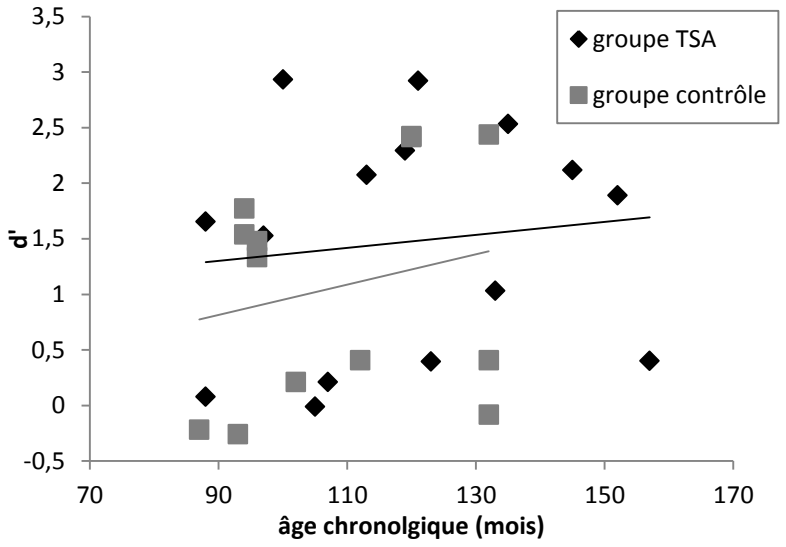


Figure 21. Performances moyennes (d') à la tâche de discrimination de fréquences pour les groupes enfants TSA et contrôles en fonction de l'âge chronologique (en mois).

En conclusion, les analyses indiquent une capacité de discrimination fréquentielle identique entre les deux groupes. De plus, les analyses ne nous ont pas permis d'identifier ni des stratégies différentes sur les critères de décision ni de différence développementale entre les deux groupes.

4.2. Résultats de l'Etude 2b : tâche de discrimination de durée

Deux participants (un enfant contrôle et un adulte contrôle) ont été exclus des analyses compte tenu de leurs scores se situant à plus de 2*ET* de leur groupe. De plus, les résultats de 2 enfants TSA ont également été exclus des analyses car ils n'ont pas terminé la tâche. Les résultats sont représentés dans le Tableau 9. Deux ANOVAs ont été réalisées sur les *d'* et les critères de décision avec le Groupe (autiste vs contrôle) et l'Age (adulte vs enfants) comme facteurs inter-sujets et la Condition (8 ms, 16 ms, 24 ms, 32 ms et 40 ms) comme facteur intra-sujet. Une analyse développementale a ensuite été réalisée sur les performances des enfants TSA et contrôle pour observer une éventuelle différence développementale entre les deux groupes. Une ANOVA a donc été réalisée sur les

performances moyennes dans chacun des groupes avec l'âge chronologique comme facteur inter-sujet, pour identifier un éventuel effet développemental. Une seconde ANOVA a été réalisée avec le Groupe (TSA vs contrôle) comme facteur inter-sujet, pour identifier une différence dans le rythme de développement.

	8ms	16ms	24ms	32ms	40ms
TSA					
***d'*(*M*, *ET*)**	**0.12 (.44)**	**0.74 (.73)**	**1.06 (1.06)**	**1.41 (1.01)**	**1.71 (1.09)**
critère (*M*, *ET*)	**0.83 (.54)**	**0.52 (.59)**	**0.36 (.51)**	**0.19 (.53)**	**0.04 (.48)**
Adultes					
d'(*M*, *ET*)	0.25 (.43)	0.84 (.99)	1.32 (1.08)	1.61 (1.17)	2.01 (.99)
critère (*M*, *ET*)	0.92 (.57	0.62 (.71)	0.39 (.66)	0.25 (.68)	0.05 (.61)
Enfants					
d'(*M*, *ET*)	0.01 (.43)	0.64 (.41)	0.81 (1.02)	1.23 (.85)	1.42 (1.15)
critère (*M*, *ET*)	0.75 (.53)	0.43 (.47)	0.35 (.35)	0.14 (.36)	0.05 (.34)
Contrôles					
***d'*(*M*, *ET*)**	**0.15 (.53)**	**0.61 (.68)**	**0.88 (.93)**	**1.17 (1.02)**	**1.17 (.91)**
critère (*M*, *ET*)	**0.54 (.59)**	**0.31 (.57)**	**0.17 (.62)**	**0.02 (.51)**	**0.01 (.42)**
Adultes					
d'(*M*, *ET*)	0.24 (.57)	0.98 (.52)	1.36 (.62)	1.71 (.49)	2.01 (.41)
critère (*M*, *ET*)	0.52 (.35)	0.15 (.34)	−0.03 (.37)	−0.21 (.25)	−0.06 (.32)
Enfants					
d'(*M*, *ET*)	0.08 (.51)	0.36 (.67)	0.55 (.98)	0.79 (1.13)	1.09 (1.13)
critère (*M*, *ET*)	0.55 (.73)	0.41 (.67)	0.31 (.72)	0.19 (.56)	0.04 (.49)

Tableau 9. *d'* et critère moyen obtenus à la tâche de discrimination de durée. Les résultats sont présentés pour les groupes TSA et contrôles en fonction de l'âge aux conditions 8, 16, 24, 32, 40 ms.

4.2.1. Analyse des d'

Nous avons tout d'abord observé que les performances augmentent en fonction des conditions de durée, $F(4,200) = 47.81$, $p < .001$, $\eta^2_p = .47$. Les analyses indiquent aussi que les adultes ($M = 1.23$, $ET = .58$) ont de meilleures performances que les enfants ($M = .71$, $ET = .61$), $F(1,50) = 9.84$, $p < .005$, $\eta^2_p = .16$. Aucune différence de performances entre les groupes n'est observée (contrôle : $M = .92$, $ET = .58$; TSA : $M = 1.01$, $ET = .12$), $F(1,50) = 0.31$, $p = .58$. Nous n'avons pas observé d'interactions, ni entre les conditions expérimentales et

le groupe, $F(4,200) = .23$, $p = .91$ (voir Figure 22) ; ni entre les conditions, la tâche et l'âge des participants, $F(4,200) = 1.68$, $p = .15$.

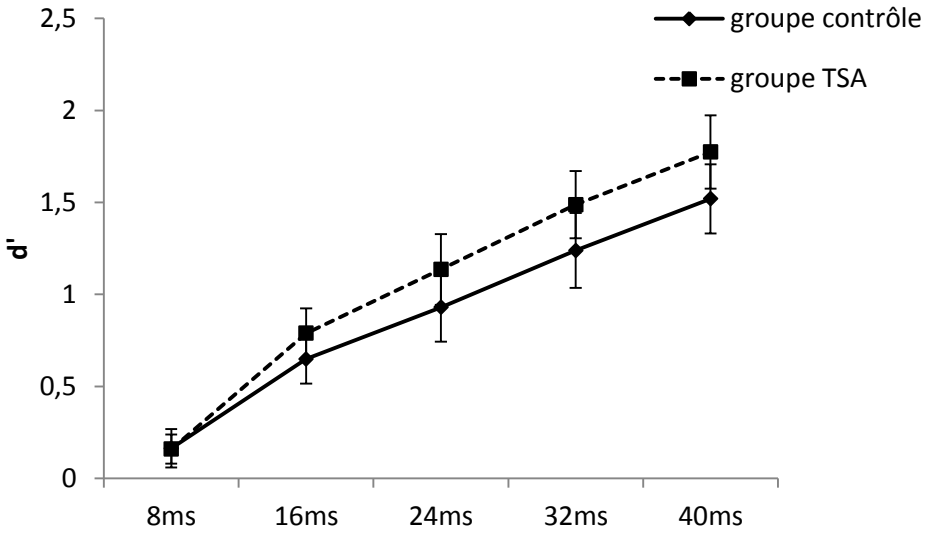


Figure 22. *d'* moyen à la tâche de discrimination de durée pour les groupes contrôle et TSA de durée en fonction des 5 conditions expérimentale : 8ms, 16ms, 24ms, 32ms, 40ms. Les barres représentent les erreurs standards.

4.2.2. Analyse des critères de décision

L'ANOVA réalisée sur les critères de décision n'indique pas de différence significative entre les deux groupes $F(1,50) = 2.7$, $p = .11$. Un effet principal des conditions expérimentales est observé, $F(4,200) = 34.86$, $p < .001$, $\eta^2_p = .41$, indiquant une réduction du biais de réponses envers les réponses identiques en fonction de l'augmentation de la durée.

4.2.3. Analyse développementale

Nous observons, dans le groupe TSA, que les performances augmentent avec l'âge $F(1,11) = 9.89$, $p < .01$, $r^2 = .47$. Cette augmentation des performances avec l'âge n'est pas observé dans le groupe contrôle, $F(1,16) = .03$, $p = .86$, $r^2 = .01$. Cependant, l'interaction entre le groupe et l'âge est non significative $F(1,27) = .96$, $p = .33$ suggérant que cette différence entre les deux groupes n'est

pas significative. Les deux groupes ont un rythme de développement identique pour le traitement de la durée (voir Figure 23).

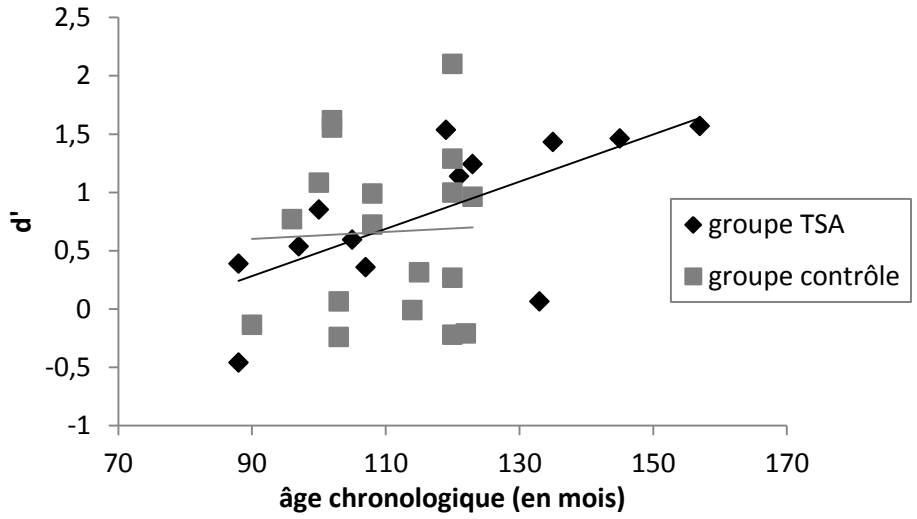


Figure 23. Performance moyenne (d') à la tâche de discrimination de durée pour les groupes enfants TSA et contrôle en fonction de l'âge chronologique (en mois).

En conclusion, les analyses ne permettent pas de conclure à une différence de performances entre le groupe contrôle et le groupe TSA que ce soit au niveau de l'analyse des *d'* ou des critères de décision. L'analyse développementale indique cependant une augmentation des performances en fonction de l'âge dans le groupe TSA, qui n'est pas observée dans le groupe contrôle.

4.3. Résultats de l'Etude 2c : tâche de discrimination d'intensité

Un sujet adulte contrôle a été exclu des analyses car ses résultats étaient déviants (−2 *ET*) par rapport à ceux de son groupe. De plus, deux enfants TSA n'ont pas réalisé la tâche en entier, par conséquent leurs résultats ont été exclus des analyses. Les données sont résumées dans le Tableau 10. Deux ANOVAs ont été réalisées sur les *d'* et les critères de décision avec le Groupe (TSA, contrôle) et l'Age (adulte, enfant) comme facteurs inter-sujets et la Condition (1dB, 2dB, 3dB, 4dB et 5dB) comme facteur intra-sujet. Une analyse développementale a ensuite

été menée sur les performances des enfants TSA et contrôles. L'ANOVA a été réalisée sur les performances moyennes dans chacun des groupes avec l'âge chronologique comme facteur inter-sujet, pour identifier un effet développemental. Une seconde ANOVA a été réalisée avec le Groupe (TSA, contrôle) comme facteur inter-sujet, pour identifier une différence dans le rythme de développement.

	1dB	2dB	3dB	4dB	5dB
TSA					
***d'*(*M*, *ET*)**	**0.22 (.59)**	**1.09 (.98)**	**1.48 (1.27)**	**1.81 (1.35)**	**2.07 (1.23)**
critère (*M*, *ET*)	**0.97 (.55)**	**0.53 (.57)**	**0.33 (.35)**	**0.17 (.31)**	**0.04 (.23)**
Adultes					
d' (*M*, *ET*)	0.44 (.59)	1.59 (.83)	1.94 (1.09)	2.16 (1.18)	2.41 (1.02)
critère (*M*, *ET*)	1.06 (.44)	0.48 (.59)	0.31 (.31)	0.21 (.24)	0.07 (.23)
Enfants					
d' (*M*, *ET*)	0.02 (.52)	0.63 (.91)	1.06 (1.32)	1.48 (1.46)	1.76 (1.37)
critère (*M*, *ET*)	0.88 (.65)	0.57 (.57)	0.36 (.40)	0.15 (.35)	0.01 (.24)
Contrôles					
***d'*(*M*,*ET*)**	**0.31 (.53)**	**0.62 (.88)**	**1.61 (.98)**	**1.97 (1.09)**	**2.14 (1.03)**
critère (*M*, *ET*)	**0.82 (.68)**	**0.67 (.65)**	**0.18 (.53)**	**0.01 (.44)**	**−0.08 (.44)**
Adultes					
d'(*M*, *ET*)	0.36 (.55)	0.99 (.91)	1.98 (.62)	2.42 (.61)	2.49 (.48)
critère (*M*, *ET*)	0.84 (.53)	0.52 (.57)	0.03 (.42)	−0.18 (.24)	−0.22 (.26)
Enfants					
d'(*M*,*ET*)	0.28 (.52)	0.34 (.77)	1.32 (1.11)	1.61 (1.26)	1.87 (1.26)
critère (*M*, *ET*)	0.81 (.81)	0.77 (.71)	0.29 (.59)	0.14 (.51)	0.01 (.53)

Tableau 10. *d'* et critères moyens pour les groupes TSA et contrôles en fonction de l'âge aux conditions 1, 2, 3, 4, dB à la tâche de discrimination d'intensité.

4.3.1. Analyse des *d'*

L'analyse indique tout d'abord que les performances augmentent en fonction des conditions d'intensité, $F(4,196) = 77.16$, $p < .001$, $\eta^2_p = .61$. Il est également observé que les adultes ($M = 1.68$, $ET = .78$) ont des performances supérieures à celles des enfants ($M = 1.04$, $ET = .82$), $F(1,49) = 8.21$, $p < .01$, $\eta^2_p = .14$. Aucune différence de performances entre le groupe TSA et le groupe contrôle n'est observée (contrôle : $M = 1.36$, $ET = .83$; TSA : $M = 1.35$ $ET = .88$), $F(1,49) = .01$,

$p = .94$. Il existe une interaction tendancielle entre les conditions d'intensité et le groupe, $F(4,196) = 2.22$, $p = .06$, $\eta^2_p = .04$ (voir Figure 24). Cette interaction est principalement due au fait que le groupe TSA ($M = 1.09$, $ET = .98$) présente de meilleures performances que le groupe contrôle ($M = .62$, $ET = .88$) dans la condition 2dB comparativement aux autres conditions (contraste : −(1dB), 4*2dB, −(3dB), −(4dB), −(5dB)), $F(1,49) = 6.49$, $p < .05$. Les autres contrastes ne sont pas significatifs ($p > .05$). Par conséquent, nous pouvons supposer que le groupe TSA perçoit la différence entre les sons à 2dB de différence alors que les participants du groupe contrôle ne perçoivent pas la différence entre les sons à cette différence de décibels.

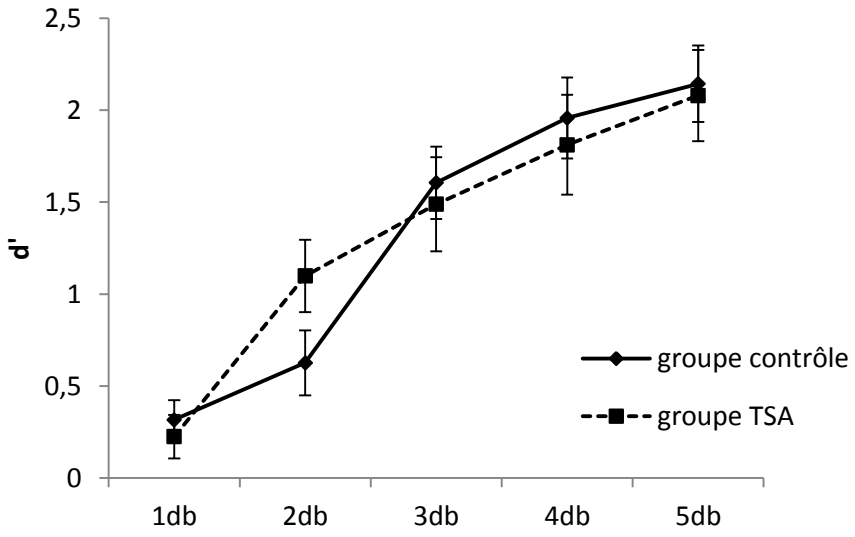


Figure 24. *d'* moyen à la tâche de discrimination d'intensité des groupes contrôle et du groupe TSA en fonction des conditions exéprimentales : 1dB, 2dB, 3dB, 4dB et 5dB. Les barres représentent les erreurs standards.

4.3.2. Analyse des critères de décision

L'analyse sur les critères de décision n'indique pas de différence entre le groupe contrôle et le groupe TSA, $F(1,49) = 0.89$, $p = .34$. Un effet principal des conditions d'intensité est observé, $F(4,190) = 77.16$, $p < .001$, $\eta^2_p = .61$, indiquant une réduction des fausses alarmes avec l'augmentation d'intensité. Une interaction tendancielle est observée entre les conditions expérimentales et la

population, $F(4,196) = 2.22$, $p = .06$, $\eta^2_p = .04$, qui peut s'expliquer en partie par un taux de fausses alarmes plus important dans la condition 2dB par rapport aux autres conditions pour le groupe contrôle ($M = .67$, $ET = .65$) comparé au groupe TSA ($M = .53$, $ET = .57$), $F(1,49) = 6.49$, $p < .05$.

4.3.3. Analyse développementale

Les analyses indiquent que les performances n'augmentent pas en fonction de l'âge ni dans le groupe TSA $F(1,11) = 2.25$, $p = .16$, $r^2 = .17$, ni dans le groupe contrôle, $F(1,14) = .076$, $p = .78$, $r^2 = .01$. Nous n'observons pas d'interaction significative entre le groupe et l'âge, $F(1,25) = .75$, $p = .39$, indiquant que les deux groupes ont un rythme de développement équivalent.

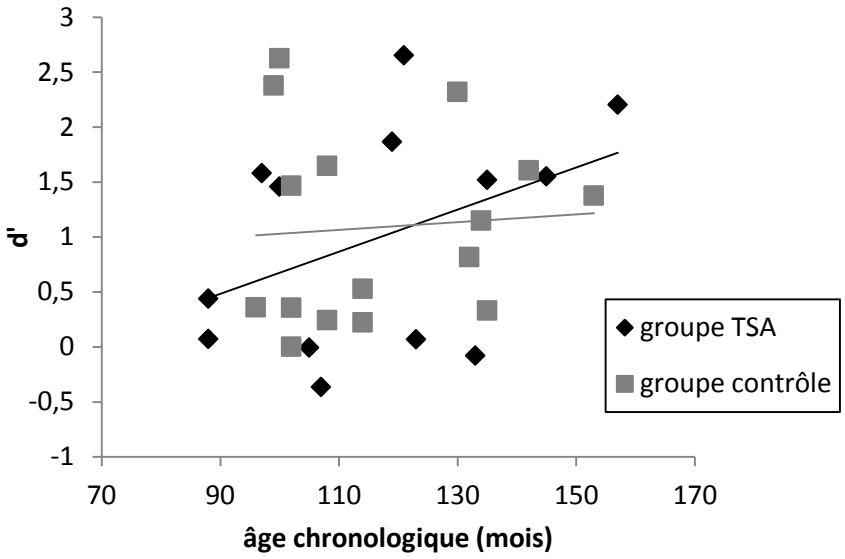


Figure 25. Performance moyenne (d') à la tâche de discrimination d'intensité pour les groupes enfant TSA et contrôle en fonction de l'âge chronologique (en mois).

En conclusion, les résultats de cette tâche de discrimination d'intensité indiquent une plus grande sensibilité à l'intensité sonore pour le groupe TSA par rapport au groupe contrôle. En effet, il semble que les participants TSA soient capables de discriminer deux sons qui ne varient que de 2dB alors que les

participants typiques ne semblent pas percevoir cette différence d'intensité. Ces résultats ont été observés au niveau de l'analyse des *d'* et des critères de décision.

5. Corrélations entre les différentes tâches de discrimination auditive

Afin d'évaluer si les personnes autistes ont le même profil de performances dans l'ensemble des tâches de discrimination auditive, des corrélations ont été calculées. En effet, l'hétérogénéité de notre groupe TSA peut avoir masqué certaines capacités auditives de certains participants. Pour le groupe TSA, des corrélations partielles sont effectuées en contrôlant l'effet de la variable Age (enfant, adulte). Pour le groupe contrôle, les corrélations ne sont effectuées que sur les données des adultes contrôles puisque les trois tâches de discrimination auditive ont été effectuées par trois groupes différents d'enfants contrôles.

Pour le groupe TSA, nous observons que les performances pour les trois tâches sont corrélées (voir Figure 26). Les performances aux tâches de discrimination de durée et de fréquence sont corrélées, $r(21) = .59$, $p < .005$. Il est également observé une corrélation entre les performances à la tâche de discrimination de durée et d'intensité, $r(21) = .63$, $p < .001$. De même nous avons observé une corrélation entre les performances à la tâche de discrimination de fréquence et d'intensité, $r(21) = .76$, $p < .001$.

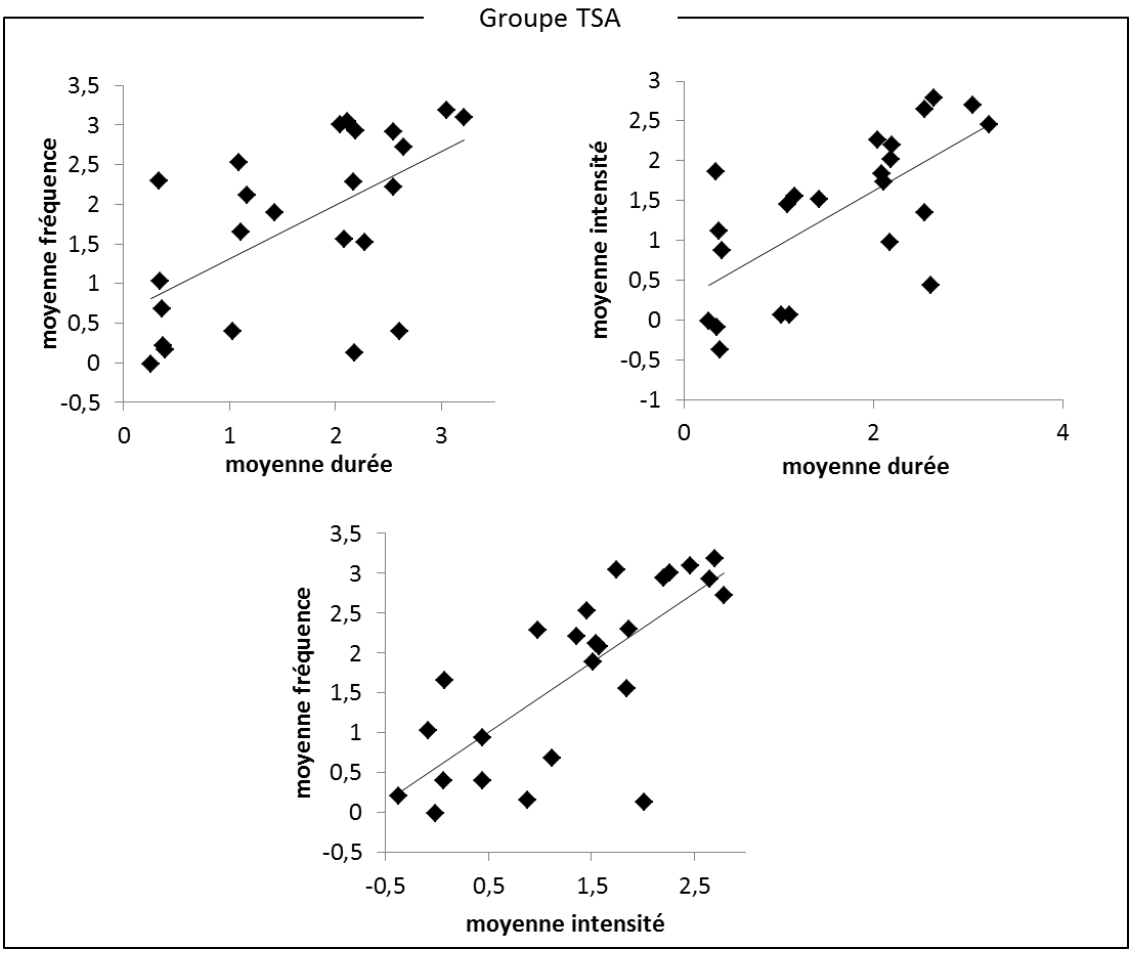


Figure 26. Corrélations entre les différentes tâches de discrimination auditive pour le groupe TSA.

Pour le groupe contrôle, un sujet a été exclu des analyses puisque ses performances étaient déviantes. On observe une corrélation entre les tâches de discrimination d'intensités et de fréquences, r(12)= .725, p <.001. En revanche, les performances entre la tâche d'intensité et de durée ne sont pas corrélées, r(12) = −.148, p = .64 pas plus qu'entre la tâche de durée et de fréquences, r(12) = −.052, p = .87, (voir Figure 27).

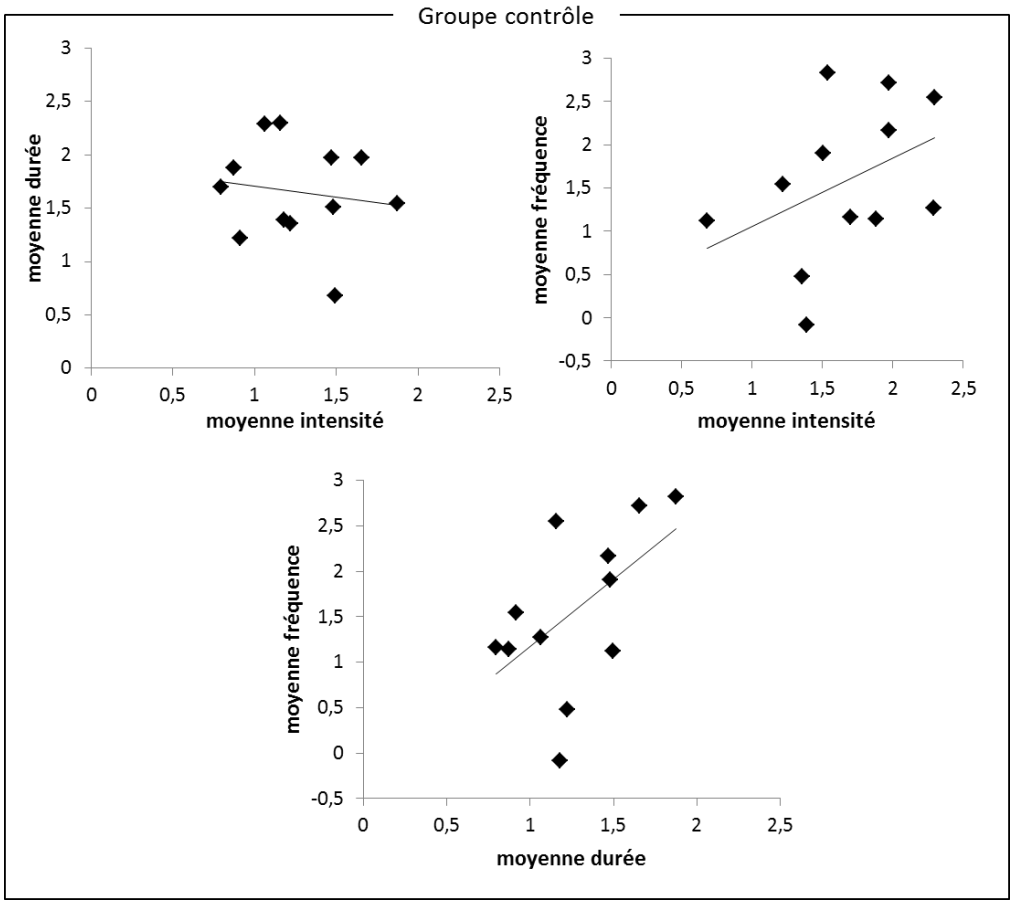


Figure 27. Corrélations entre les différentes tâches de discrimination auditive pour le groupe contrôle.

6. Corrélations entre la perception auditive et le traitement musical

Dans le but d'évaluer si la perception auditive joue un plus grand rôle dans le traitement musical chez les personnes autistes (comme supposé par la théorie EPF), des régressions multiples ont été effectuées auprès des groupes TSA et contrôle en contrôlant l'effet de la variable Age (enfant, adulte). Ces régressions ont pour but d'évaluer si les performances à la tâche de fréquences peuvent prédire les performances aux tâches de discrimination mélodique (Etude 1a, p.85 et Etude 1b, p.93) et d'accords (Etude 1c p.97).

Pour le groupe TSA, nous observons que la performance à la tâche de discrimination mélodique (Etude 1a, p.85) est prédite par la performance à la tâche de discrimination de fréquences, $\beta = .62$, $p < .001$. Il est à noter qu'un sujet a été enlevé de l'analyse car il présentait un score élevé à la tâche de

discrimination mélodique et un score faible à la tâche de discrimination de fréquences tirant ainsi la droite de régression. Nous observons également que les performances à la tâche de discrimination de fréquences permettent de prédire la performance à la tâche d'accord (Etude 1c, p.97), ß = .65, $p < .001$. En revanche, aucun lien ne semble exister entre les tâches de transposition (Etude 1b p.93) et de discrimination de fréquences, ß = .21, $p = .31$, (voir Figure 28).

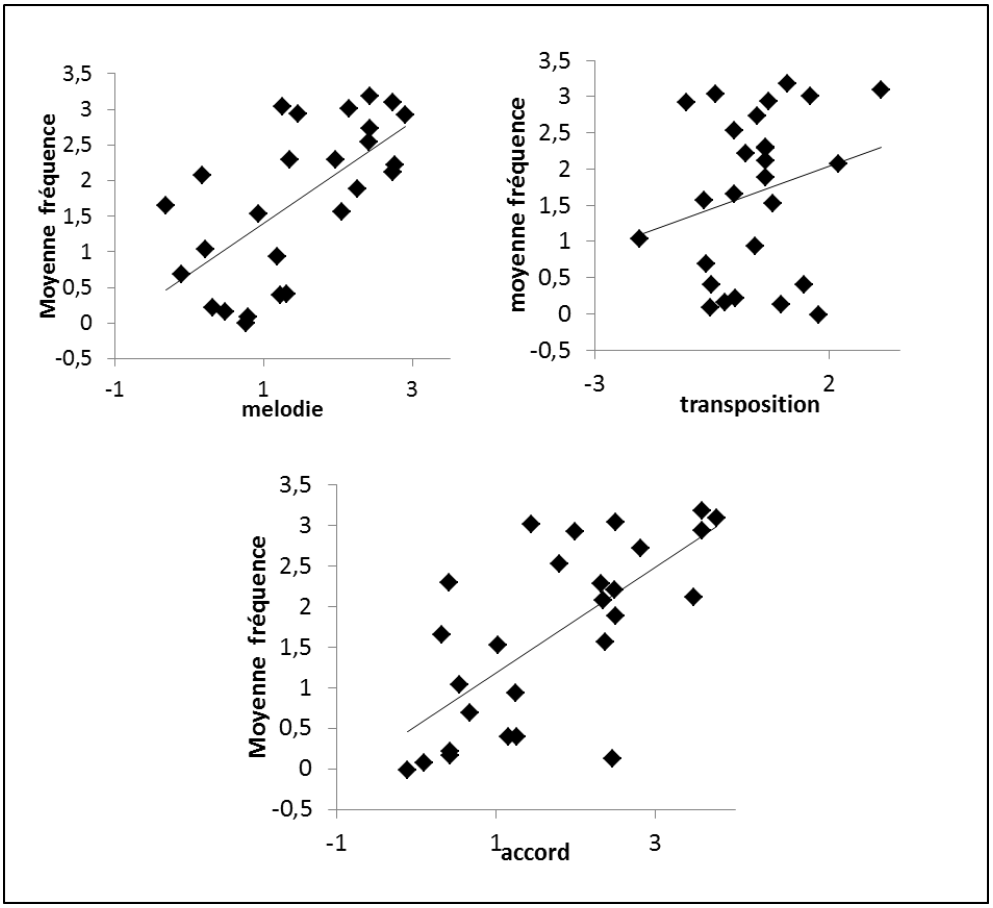


Figure 28. Régressions linéaires entre les performances moyennes aux tâches de discrimination de fréquences et mélodiques, de transposition mélodique et de discrimination d'accords pour le groupe TSA.

Dans le groupe contrôle, nous avons réalisé une régression multiple sur l'ensemble du groupe, puisque les mêmes enfants contrôles ont réalisé l'Etude 1a (discrimination mélodique) et l'Etude 2a (tâche de discrimination de fréquences). Cette régression a pour but d'étudier l'impact des performances en discrimination de fréquences sur la tâche de discrimination mélodique tout en contrôlant l'effet

de l'âge. L'analyse indique que les performances à la tâche de discrimination fréquentielle ne permettent pas de prédire les performances à la tâche de discrimination mélodique (ß = .17, p = .43), voir Figure 29. Il semble que le lien entre les tâches de bas et de haut niveau ne soit pas aussi fort que pour le groupe TSA.

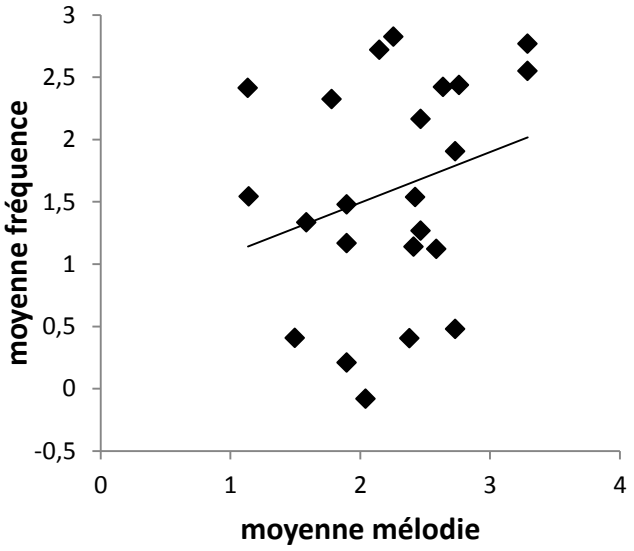


Figure 29. Régression linéaire entre les performances moyennes à la tâche de discrimination de fréquences et celles observées à la tâche de discrimination mélodique pour l'ensemble du groupe contrôle.

Pour les corrélations entre la tâche de fréquence et la tâche de discrimination de mélodies transposées (Etude 1b) et de discrimination d'accords (Etude 1c), nous avons réalisé des régressions linéaires uniquement pour les adultes contrôles (N = 13) puisque des groupes d'enfants différents ont réalisé ces tâches. Nous observons tout d'abord que les performances à la tâche de discrimination de fréquences permettent de prédire les résultats à la tâche de discrimination d'accords, ß = .57, p = .04. En revanche, les performances à la tâche de discrimination de fréquences ne permettent pas de prédire les performances à la tâche de transposition, ß = −.43, p = .14 (voir Figure 30).

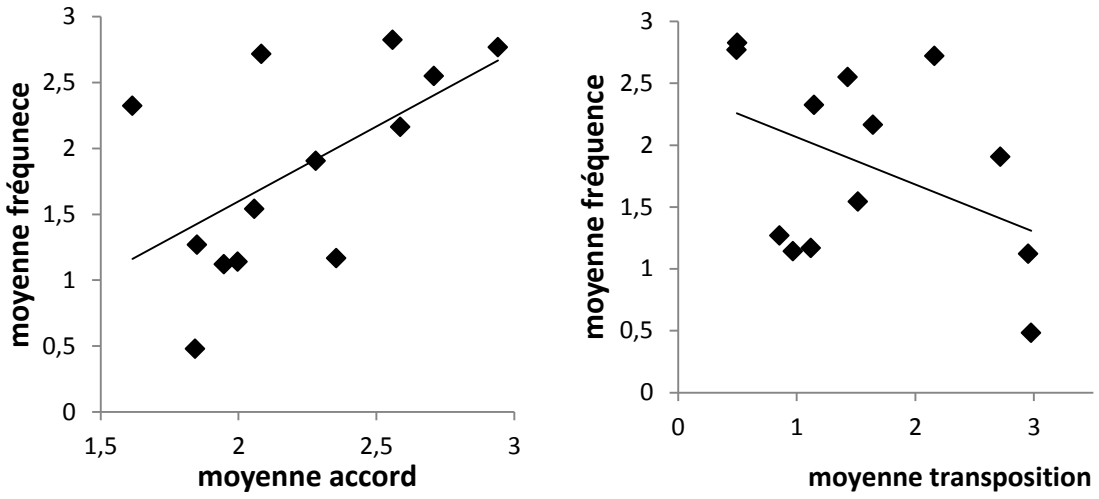


Figure 30. Régressions linéaires entre les performances à la tâche de discrimination de fréquences et celles observées à la tâche de discrimination d'accords et à la tâche de discrimination de mélodies transposées pour les adultes contrôles.

7. Discussion de l'Etude 2

Pour déterminer si les personnes TSA présentent une hypersensibilité auditive, nous avons mené trois études de discrimination auditive sur les dimensions de fréquence (Etude 2a), de durée (Etude 2b), et d'intensité (Etude 2c). Dans l'Etude 2a (tâche de discrimination de fréquences), nous n'avons pas observé de performances supérieures du groupe TSA par rapport au groupe contrôle, contrairement aux études précédentes (Bonnel, et al., 2010 ; Bonnel, et al., 2003 ; Jones, et al., 2009). Dans l'Etude 2b (tâche de discrimination d'intensité), le groupe TSA semble avoir un seuil de détection plus faible que le groupe contrôle. En effet, alors que les deux groupes réalisent la tâche au hasard dans la condition 1dB, dans la condition 2 dB (c'est-à-dire quand il y a uniquement 2 décibels de différence entre les deux sons) le groupe TSA obtient des performances supérieures à celles du groupe contrôle. Ce résultat va dans le sens des résultats obtenus par Khalfa (2004), d'une plus grande sensibilité à l'intensité dans la population autiste. Dans l'Etude 2c (tâche de discrimination de durée), nous n'avons pas observé de performances supérieures du groupe TSA par rapport au groupe contrôle. Les analyses sur les critères de décision ne fournissent pas d'indices supplémentaires quant à la stratégie utilisée pour réaliser ces tâches. Les analyses développementales ne permettent pas non plus

d'observer une différence de développement des capacités auditives entre les deux groupes. Nous n'avons donc pas observé une hypersensibilité auditive chez les participants TSA sur les dimensions de fréquence, de durée et d'intensité.

Cette absence d'hypersensibilité peut s'expliquer par plusieurs facteurs. Tout d'abord, l'hétérogénéité de notre groupe TSA qui comprend des personnes autistes, Asperger, TED-Nos. Comme souligné, dans la partie théorique, la capacité supérieure à discriminer des fréquences sonores semble propre aux personnes autistes et non pas aux personnes Asperger (Bonnel et al., 2010 , Jones et al., 2009). Il est en effet possible que la supériorité à discriminer des caractéristiques acoustiques de façon générale soit propre aux personnes autistes et que l'hétérogénéité de notre groupe ait masqué une éventuelle différence de capacités auditives. Une autre limite de notre étude peut être méthodologique. En effet, pour chacune des tâches réalisées, seul un faible nombre d'essais a été présenté dans chacune des conditions expérimentales (8 pour la tâche de fréquences et 10 pour la tâche d'intensité et de durée). Des études ayant observé une discrimination fréquentielle supérieure chez les personnes autistes, ont utilisé un plus grand nombre d'essais. Par exemple, dans l'étude de Bonnel et al. (2003) dont nous avons repris le paradigme, chaque condition différente comportait 40 essais. Il est donc possible que le manque de puissance observé dans nos tâches soit induit par un nombre insuffisant d'essais.

Par ailleurs, pour évaluer si la perception auditive joue un plus grand rôle dans le traitement musical chez les personnes autistes comme supposé par la théorie EPF (Mottron et al., 2006), nous avons mené des corrélations entre les performances aux tâches auditives et celles obtenues aux tâches musicales présentées au Chapitre 6. Nos résultats indiquent une supériorité du traitement perceptif dans la cognition musicale chez les personnes autistes. En effet, même si nous n'avons pas obtenu de supériorité du traitement local dans les tâches de discrimination musicale ni de supériorité de discrimination aux différentes tâches de discrimination auditive, nos résultats suggèrent que le lien entre ces tâches de bas et haut niveau est plus fort dans le groupe TSA que dans le groupe contrôle. Les performances en discrimination de fréquences du groupe TSA

prédisent les performances moyennes en discrimination mélodique (contour/intervalle) et en discrimination d'accords. Dans le groupe contrôle, les performances moyennes en discrimination de fréquences permettent uniquement de prédire les performances en discrimination d'accords. Par contre, il semble que pour les deux groupes, les performances en discrimination fréquentielle ne permettent pas de prédire les performances sur la tâche de transposition. De plus, nous avons observé dans le groupe TSA des corrélations significatives entre les trois tâches acoustiques, corrélations qui sont observées uniquement pour les tâches de discrimination de fréquences et d'intensité dans le groupe contrôle. Ces corrélations semblent indiquer un lien plus fort entre les différentes capacités auditives chez le groupe TSA. Il semblerait ainsi que le lien entre les tâches auditives de bas et de plus haut niveau soit plus fort dans le groupe TSA que dans le groupe contrôle, allant dans le sens de la théorie EPF (Mottron et al., 2006).

Après avoir comparé les deux théories dans la modalité auditive (Etude 1 et Etude 2), nous allons maintenant étudier si les traitements global et local manipulés dans les tâches mélodiques sont de même nature que ceux impliqués dans la dimension visuelle. En effet, les modèles WCC et EPF postulent que le biais envers le traitement local observé dans l'autisme est amodal.

Chapitre 8. Exploration de l'analogie des traitements global et local entre la vision et l'audition : Etude 3 et Etude 4

Les théories de la faiblesse de cohérence centrale (WCC, Frith, 1989) et du surfonctionnement des traitements perceptifs (EPF, Mottron et al., 2006) suggèrent que la supériorité du traitement local observé dans l'autisme serait indépendante de la modalité évaluée. Ainsi, l'Etude 3 sera consacrée à l'évaluation du biais local et/ou d'un déficit global en vision. Pour cela, une tâche de discrimination de formes visuelles, élaborée sur le principe de la tâche de Navon (1977) sera utilisée. Afin de conserver la même consigne que celle employée dans les tâches de discrimination auditive et musicale, nous avons construit une tâche analogue dans la modalité visuelle. Cette similitude méthodologique nous permettra de mener des corrélations entre les traitements impliqués en audition et en vision. Ces corrélations ne nous permettant pas d'établir des traitements similaires en audition et en vision, nous développerons dans l'Etude 4, une tâche auditive permettant une meilleure analogie avec les traitements global et local en vision.

1. Etude 3 : tâche de discrimination de formes visuelles

1.1. Participants

Vingt-sept participants TSA et 26 personnes au développement normal ont participé à cette étude. Le groupe TSA est composé de 12 adultes (10M, âge moyen = 21.15, *ET* = 6.2) et 15 enfants (14M, âge moyen = 9.5, *ET* = 6.2). Le groupe contrôle est composé de 13 adultes (7M, âge moyen = 22.2, *ET* = 4.1) et de 13 enfants (9M, âge moyen = 9, *ET* = 1.22). Des descriptions détaillées de ces participants, ainsi que leur appariement, sont donnés p.77.

1.2. Stimuli

Quatre formes géométriques ont été utilisées (rond, carré, triangle, croix) et douze stimuli ont été créés à partir de ces formes géométriques. Chaque forme est constituée de deux niveaux : un niveau global (grande forme) et un niveau local (petite forme). Aucune forme globale n'est composée des mêmes éléments locaux (e.g., une forme globale ronde ne sera jamais composée de petits ronds). La taille des formes globales se situe entre 65.5 mm et 85.5 mm (6,2 à 8.1 d'angle visuel pour une distance de 60 cm), celle des formes locales entre 5 et 10 mm (0.47 à 0.95 d'angle visuel).

1.3. Procédure

Les formes sont présentées par paires. Trois conditions expérimentales ont été créées, nous avons ainsi manipulé les liens entre les deux formes (forme de référence et la seconde forme). En fonction de la condition la seconde forme peut différer de la forme de référence (i) soit par ses éléments locaux (Ldiff) ; (ii) soit par sa forme globale (Gdiff) ; (iii) soit par sa forme globale et ses éléments locaux (GLdiff) (Figure 31). Vingt-quatre paires sont présentées dans chacune des conditions, et 12 paires identiques (GidLid) présentées six fois. Il y a donc 164 essais composés de 72 paires identiques et 72 paires différentes. Les 164 paires sont présentées dans un ordre aléatoire. Chaque essai commence par un point de fixation présenté durant 100 ms, puis chaque forme est affichée pendant 200 ms. La première forme est présentée dans la partie supérieure de l'écran et la seconde dans la partie inférieure à un intervalle de 250 ms. Avant la phase test, un entraînement de 12 essais (six paires identiques et six différentes, deux de chaque condition) est réalisé. Une consigne de rapidité est donnée au début de l'expérience, les temps de réponse et le taux de bonnes réponses sont enregistrés. Les participants doivent indiquer si les formes présentées successivement sont identiques ou différentes. Pour certains enfants autistes, les réponses étaient données à l'oral et saisies sur le clavier par l'expérimentateur.

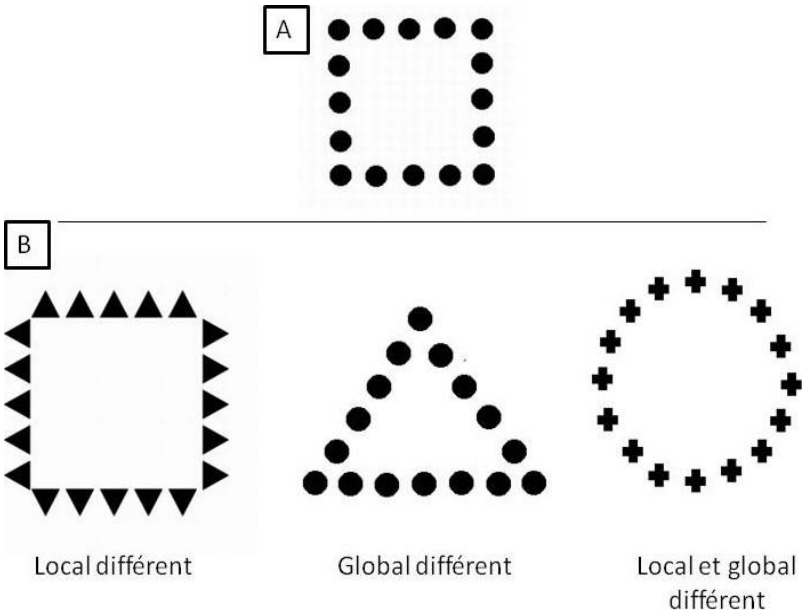


Figure 31. Illustration des 3 conditions « différentes » possibles. L'image de référence (A) est présentée pendant 200 ms puis la seconde image (B) qui peut être modifiée soit au niveau local, soit au niveau global soit au niveau global et local est présentée pendant 200 ms.

1.4. Résultats

Trois participants (2 enfants autistes et un enfant contrôle) ont été exclus des analyses à cause de leur temps de réponses (TR) se situant à +2 *ET* de ceux de leur groupe. Les données sont résumées dans le Tableau 11.

1.4.1. Analyse des temps de réponse

Le groupe TSA présentant des TR globalement plus long (les réponses de certains participants TSA ont été rentrées par une tierce personne) ; une transformation des temps de réponse (TR) a été effectuée pour permettre une comparaison des temps de réponse du groupe contrôle avec ceux du groupe autiste. Aux TR de chaque participant, et pour chaque condition expérimentale (GLdiff, Gdiff, et Ldiff), le TR moyen de chaque participant a été soustrait à la condition contrôle (GidLid, identique). Ensuite, pour donner une proportion de TR supplémentaire engagé par rapport à la condition identique, le nouveau TR a

été divisé par celui de la condition identique. Les TR additionnels engagés dans chaque condition ont ainsi été calculés selon la formule suivante :

TR additionnels = (TR paire différente – TR paire identique)/TR paire identique

Les essais échoués (mauvaise réponse) et les essais d'entraînement ont été exclus de l'analyse ainsi que les essais dont les TR dépassent plus de 3*ET* la moyenne de chaque condition et de chaque participant.

Puisque un effet de précédence globale est généralement observé dans la population typique, le groupe contrôle devrait obtenir le pattern de résultats suivant : les TR dans la condition GLdiff (traitement global et local) devraient être équivalents à ceux de la condition Gdiff (traitement global) et supérieurs à ceux de la condition Ldiff (traitement local). Si le groupe TSA présente un biais local (traitement dominant de l'information locale) il devrait obtenir des TR dans la condition Ldiff semblables à ceux des conditions GLdiff et Gdiff. Si ce biais local est associé à un déficit global, le groupe TSA devrait obtenir des TR plus longs dans la condition Gdiff (traitement global) par rapport au groupe contrôle.

	Local-Global Différent	Local différent	Global différent
TSA			
Tr additionnels (*M, ET*)	**.18 (.21)**	**.21 (.19)**	**.18 (.21)**
Adultes Tr additionnels (*M, ET*)	.24 (.19)	.25 (.22)	.18 (.19)
Enfants Tr additionnels (*M, ET*)	.12 (.21)	.16 (.16)	.19 (.21)
Contrôles			
Tr additionnels (*M, ET*)	**.23 (.19)**	**.36 (.21)**	**.22 (.12)**
Adultes Tr additionnels (*M, ET*)	.21 (.16)	.39 (.26)	.25 (.09)
Enfants Tr additionnels (*M, ET*)	.24 (.22)	.33 (.15)	.21 (.14)

Tableau 11. Temps de réponse additionnel à la tâche de discrimination de formes visuelles, dans les conditions Local-Global différent, Local différent et Global différent pour les groupes TSA et contrôles (enfants et adultes).

Une ANOVA a été réalisée sur les taux de TR additionnels avec comme facteurs inter-sujet le Groupe (contrôle, TSA) et l'Age (enfant, contrôle) et comme facteur intra-sujet la Condition (Gdiff, Ldiff, GLdiff). Un effet principal de la condition est observé, $F(2,94) = 4.85$, $p < .01$, $\eta^2_p = .09$. Les TR additionnels dans la condition Ldiff ($M = .28$, $ET = .22$) sont plus longs que dans les deux autres conditions (LGdiff : $M = .21$, $ET = .19$; Gdiff : $M = .21$, $ET = .16$), $F(1,47) = 8.41$, $p < .01$, (contraste : −Gdiff, 2*Ldiff,−GLdiff). Aucun effet de l'âge n'est observé, $F(1,47) = 1.14$, $p = .29$, les enfants ($M = .21$, $ET = .15$) ont globalement des TR additionnels équivalents à ceux des adultes ($M = .25$, $ET = .14$). Les analyses indiquent également que le groupe TSA ($M = .19$, $ET = .16$) a des TR additionnels plus courts que ceux du groupe contrôle ($M = .27$, $ET = .17$), $F(1,47) = 3.82$, $p = .05$, $\eta^2_p = .07$. Aucune interaction entre les conditions expérimentales et le groupe n'est observée, $F(2,94) = 2.26$, $p = .11$. Par rapport aux hypothèses spécifiées, on observe que le groupe contrôle présente un taux de TR additionnels supérieur dans la condition Ldiff par rapport aux autres conditions (contraste : −GLdiff, 2*Ldiff, −Gdiff), $F(1,47) = 12.15$, $p < .005$, alors que ceci n'est pas observé dans le groupe TSA, $F(1,47) = 0.41$, $p = .52$. De plus, le groupe TSA a un

taux de TR additionnels inférieur à celui du groupe contrôle dans la condition Ldiff, $F(1,47) = 7.09$, $p < .05$. Aucune différence entre les deux groupes n'est observée dans aucune des conditions Gdiff, $F(1,47) = .77$, $p = .38$ et GLdiff $F(1,47) = .75$, $p = .39$. Les résultats sont représentés dans la Figure 32.

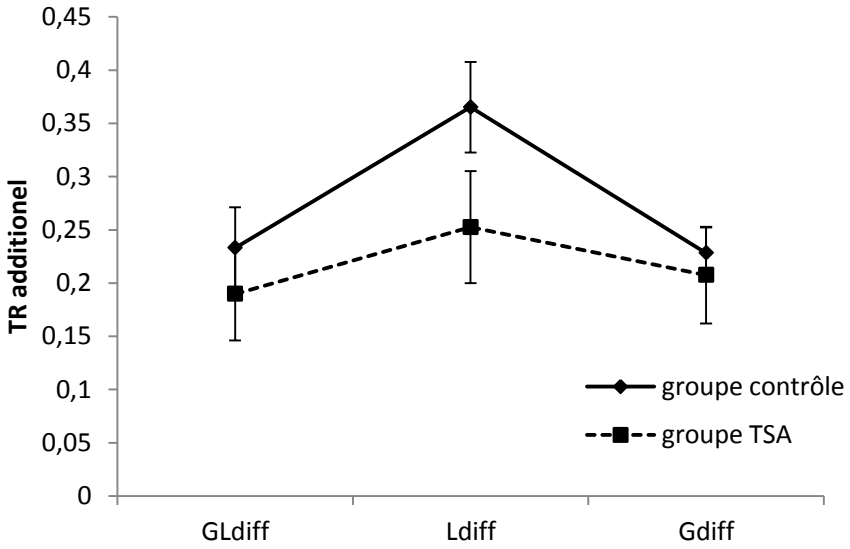


Figure 32. TR additionnels à la tâche de discrimination de formes visuelles pour le groupe contrôle et le groupe TSA en fonction des conditions GLdiff, Ldiff, Gdiff. Les barres représentent les erreurs standards.

1.4.2. Analyse développementale

1.4.2.1. Analyses par groupes

Une ANOVA a été conduite sur les TR additionnels dans chaque groupe (contrôle, TSA) avec la Condition (Gdiff, Ldiff) comme facteur intra-sujet et l'Age (âge chronologique) comme facteur inter-sujet pour identifier une augmentation des performances avec l'âge dans chacun des groupes.

Groupe Contrôle. Aucun effet principal de la condition n'est observé, $F(1,10) = 3.03$, $p = .11$, indiquant que les TR additionnels sont équivalents dans les conditions Ldiff et Gdiff. Aucune interaction entre la condition et l'âge n'est

observée, $F(1,10) = 1.83$, $p = .205$. Le rythme de développement est identique pour les deux conditions (voir Figure 33).

Groupe TSA. Nous n'observons pas d'effet principal de la condition, $F(1,11) = 2.29$, $p = .15$ ni d'interaction entre l'âge et la condition $F(1,11) = 2.66$, $p = .13$. Les TR additionnels de ce groupe sont donc équivalents dans les deux conditions. Aucune différence développementale n'est observée entre les conditions (voir Figure 33).

1.4.2.2. Comparaison du groupe contrôle au groupe TSA

Une ANOVA avec le facteur Groupe (contrôle vs TSA) et l'Age (en mois) comme facteurs inter-sujet et la Condition (Gdiff et Ldiff) comme facteur intra-sujet a été menée sur les TR additionnels. Aucune interaction entre la condition et le groupe n'est observée, $F(1,21) = .31$, $p = .58$, indiquant que les deux groupes présentent un rythme de développement équivalent. De plus, la double interaction entre l'âge, la condition et le groupe n'est pas significative, $F(1,22) = .06$, $p = .81$, indiquant que le rythme de développement pour détecter un changement local et global sont sensiblement équivalents dans les deux groupes.

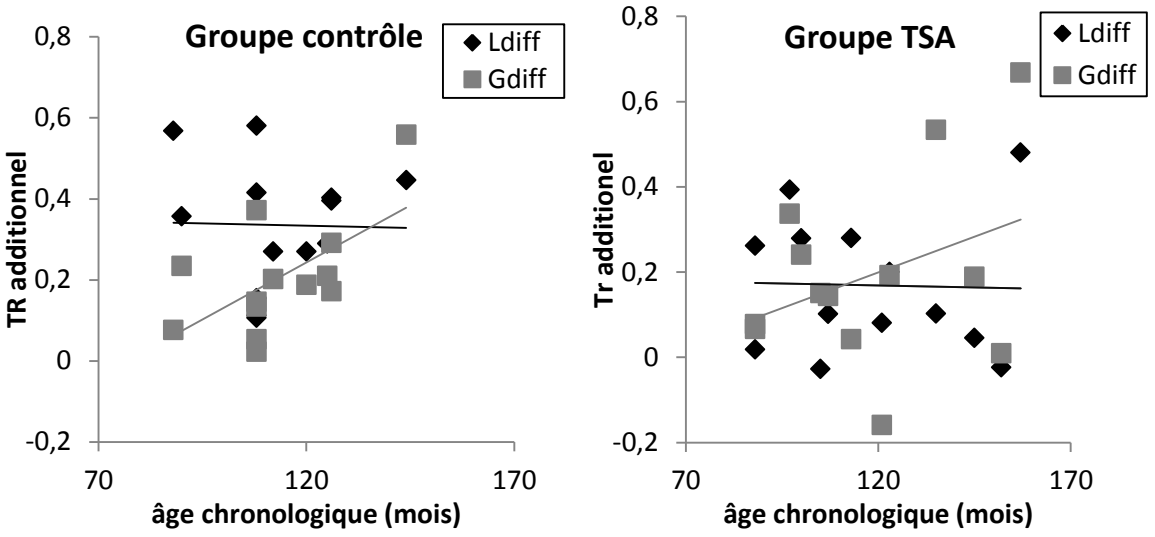


Figure 33. TR additionnel pour le groupe contrôle et le groupe TSA aux conditions Gdiff et Ldiff en fonction de l'âge chronologique (en mois).

Les analyses développementales n'indiquent pas de rythme de développement différent dans chacun des groupes pour les conditions global et local. Aucune interaction entre les groupes n'est observée, indiquant un rythme de développement identique entre les deux groupes.

1.4.3. Corrélations entre les modalités visuelle et auditive

Afin d'évaluer si les processus sous-tendant les traitements global et local sont identiques dans la modalité visuelle et auditive, des corrélations ont été menées. Nous avons donc analysé les performances en discrimination mélodique (Etude 1a, p.85) et en discrimination visuelle, dans le groupe TSA et le groupe contrôle. Comme précédemment, pour le groupe TSA, des corrélations partielles seront effectuées en contrôlant l'effet de l'âge. Pour le groupe contrôle, les corrélations ne sont menées que sur les performances des participants adultes puisque des participants enfants différents ont effectué la tâche de discrimination mélodique et la tâche de discrimination visuelle. Nous avons évalué le lien entre les conditions de deux tâches, impliquant le traitement global d'une part, et celles impliquant le traitement local d'autre part. Les corrélations ont été effectuées tout d'abord entre (i) les performances à la condition contour de la tâche de discrimination mélodique et la condition global différent de la tâche de

discrimination visuelle puisque ces deux conditions sont censées impliquer un traitement global. Les corrélations ont ensuite été calculées entre (ii) les performances à la condition intervalle de la tâche de discrimination mélodique et la condition local différent à la tâche de discrimination visuelle puisque ces conditions sont censées impliquer un traitement local.

Dans le groupe TSA, deux sujets ont été exclus des analyses, puisqu'ils étaient considérés comme déviants dans la tâche de discrimination visuelle. Pour le traitement global, la corrélation entre la condition contour et la condition Gdiff est non significative, $r(22) = .04$, $p = .83$. Pour le traitement local, la corrélation entre la condition intervalle et la condition Ldiff n'est pas non plus significative, $r(22) = -.04$, $p = .77$. Par conséquent, les performances entre les deux conditions ne semblent pas être liées pour ce groupe (voir Figure 34).

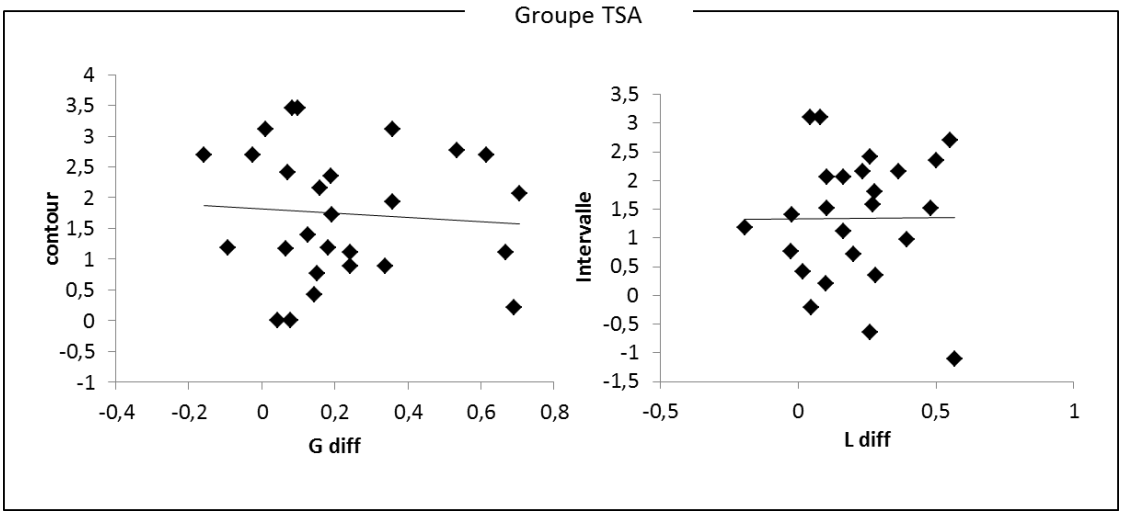


Figure 34. Corrélations entre les conditions Gdiff/Contour et entre Ldiff/intervalle pour le groupe TSA.

Dans le groupe contrôle adulte un sujet a été exclu des analyses puisque ses performances étaient déviantes pour la corrélation sur le traitement global. Pour le traitement global, la corrélation entre la condition contour et la condition Gdiff est non significative, $r(12) = -.480$, $p = .11$. Pour le traitement local, la corrélation entre la condition intervalle et la condition Ldiff n'est pas non plus significative, $r(13) = -.439$, $p = .09$. Par conséquent les performances dans ces deux conditions ne semblent pas non plus liées (voir Figure 35).

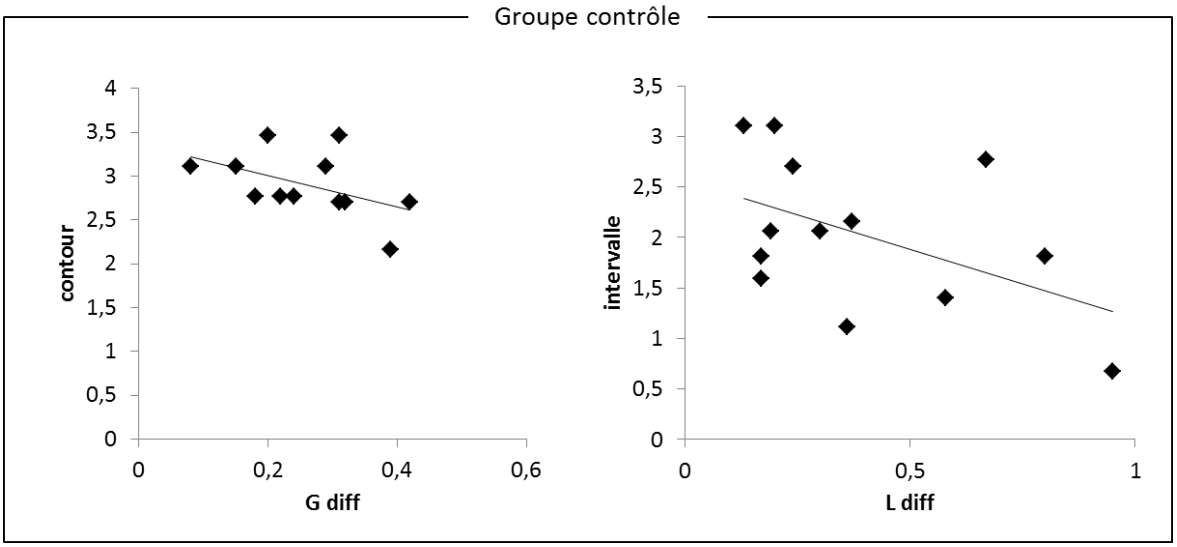


Figure 35. Corrélations entre les conditions Gdiff/Contour et entre Ldiff/intervalle pour le groupe contrôle.

1.4.4. Discussion de l'Etude 3

Dans cette étude, nous avons voulu explorer les traitements global et local visuels chez les personnes TSA avec une tâche de discrimination de formes visuelles. Pour cela, nous avons utilisé des formes composées d'éléments géométriques au niveau global et au niveau local. Pour évaluer les performances nous avons transformé les TR en TR additionnels, reflétant le traitement supplémentaire dans chacune des conditions par rapport à la condition identique. Nous avons observé que le groupe TSA obtient des TR additionnels moins importants que ceux du groupe contrôle lors de la détection d'un changement local. De plus, nous avons observé des performances semblables entre les deux groupes lors de la détection d'un changement global. Nos résultats vont dans le sens de la théorie EPF (Mottron et al., 2006) prédisant un traitement supérieur des éléments locaux sans déficit du traitement global chez les personnes autistes. Ces résultats corroborent les résultats de plusieurs études indiquant une supériorité du traitement local visuel dans l'autisme (Mottron, Belleville, et al., 1999 ; Mottron, et al., 2003 ; Rinehart, et al., 2000 ; Wang, et al., 2007).

Nous pouvons toutefois nous demander si cette différence de TR entre le groupe TSA et le groupe contrôle témoigne effectivement d'un traitement

supérieur de l'information locale par le groupe TSA ou bien d'un traitement dominant de l'information globale par le groupe contrôle. Selon cette seconde hypothèse, le groupe TSA devrait présenter une réduction de l'interférence du traitement global sur le traitement local, comme observé dans d'autres études (Foxton, et al., 2003 ; Liu, et al., 2011). Néanmoins, dans notre étude nous n'avons pas manipulé l'attention portée à un niveau de traitement particulier, il est ainsi difficile de conclure sur cette question.

Au niveau développemental, nous n'avons pas observé de différence entre les groupes enfants contrôles et TSA. Par ailleurs, un développement du traitement global en fonction de l'âge dans le groupe enfant contrôle n'est pas observé, contrairement à certaines études (Dukette & Stiles, 2001 ; Poirel, Mellet, et al., 2008). Cela pourrait être dû au fait que nos formes globales sont composées d'un nombre relativement élevés d'éléments locaux (16). En effet, selon Kimchi (2005), l'intégration de nombreux stimuli en une forme globale est un processus acquis relativement tôt chez les enfants. Ainsi, l'utilisation des formes globales constituées d'un nombre réduit d'éléments locaux pourrait permettre d'observer une différence de développement entre les deux groupes pour le traitement global et local.

Finalement, nous avons évalué si les processus sous-tendant le traitement local et global étaient indépendants de la modalité (analyses de corrélations entre les différentes conditions des Etude 3 et Etude 1a). Nos résultats suggèrent une absence de relation entre le traitement local et global entre les deux modalités. Il semblerait donc que les résultats observés dans les conditions impliquant un traitement global et local en audition et en vision soient dépendants de la modalité. De plus, ce résultat est observé chez les participants TSA et contrôles. Comme nous avons pu le voir précédemment (Chapitre 2, p.38), certains auteurs remettent en question les concepts de traitement global et local en audition. Ils soutiennent qu'une dissociation de ces deux traitements est impossible en modalité auditive. En effet, la manipulation du contour d'une mélodie (traitement global) impliquerait forcément une modification au niveau des intervalles (traitement local). Ainsi, la manipulation des deux niveaux ne pourrait pas se

faire de façon indépendante en audition, et une comparaison directe avec la vision serait par conséquent difficile (ou incorrecte). De récentes recherches ont développé de nouveaux paradigmes auditifs de façon à pallier ce problème méthodologique (Justus & List, 2005 ; List, et al., 2007 ; Sanders & Poeppel, 2007). Pourtant aucune de ces études n'a tenté de déterminer si les processus impliqués en audition et en vision sont de même nature. Nous proposons donc une étude où les mêmes participants réalisent une tâche visuelle de type Navon (1977) ainsi qu'une tâche auditive impliquant la détection d'éléments locaux et globaux au niveau temporel. Le but de cette étude est d'évaluer un effet de précédence globale en audition et si les mêmes processus sous-tendent cet effet en audition et en vision.

2. Etude 4. A la recherche de l'équivalent auditif des traitements global et local visuel

Les résultats de cette étude ont été publiés : Bouvet, L., Rousset, S. Valdois, S., Donnadieu, S. Global Precedence Effect in audition and vision: Evidence for similar cognitive styles across modalities (2011). *Acta Psychologica*, *138*(2), 329-335.

2.1. Méthode

2.1.1. Participants

Vingt sujets adultes droitiers non musiciens (7 hommes) de la communauté urbaine de Grenoble ont participé à cette étude. Leur âge moyen est de 26 ans (*ET* = 3.5) et avaient une vision normale ou corrigée.

2.1.2. Matériel

Stimuli visuel : Quatre figures hiérarchiques ont été construites. Elles sont composées d'une grande forme géométrique (carré ou rond) constituée de 20

formes plus petites (carré ou rond). Chaque forme globale fait 49.5 mm par 95.5 mm (angle visuel de 4.67 à 60 cm), voir Figure 36.

Stimuli auditif: Quatre séquences mélodiques composées de 9 sons complexes ayant des fréquences allant de 262 Hz à 659 Hz (Do4-Ré4-Mi4-Fa#4-Sol#-La#4-Do5-Ré5-Mi5) ont été créées grâce au logiciel Finale avec un timbre de piano. Chaque séquence de neuf notes (mélodies) est composée d'un groupe de trois notes (triolets) répété trois fois. Chaque note dure 210 ms, ainsi l'item local (triolet) dure 630 ms et l'item global (mélodie) dure 1900 ms. La direction des trois triolets donne la direction globale et les notes des 3 triolets donnent la direction locale, chacune pouvant monter (aller du grave à l'aigu) ou descendre (aller de l'aigu au grave). Les directions globale et locale peuvent être soit congruentes [Global ascendant/Local ascendant (GaLa) ou Global descendant/Local descendant (GdLd)] soit non congruentes [Global descendant / Local ascendant (GdLa)] ou Global ascendant/Local descendant (GaLd)], voir Figure 36.

2.1.3. Procédure Générale

Chaque participant a effectué les quatre blocs expérimentaux : vision et audition global et local. Chaque bloc comprend 60 essais dans lesquels les quatre combinaisons de stimuli global-local sont présentées 15 fois. Les essais sont mixés pseudo-aléatoirement de façon à éviter deux fois de suite la présentation du même stimulus. Avant chaque bloc, les participants sont invités à réaliser une session d'entraînement de 8 essais (deux essais pour chaque stimulus) pour lesquels un feedback est donné. L'ordre des blocs est contrebalancé entre les participants mais les blocs vision et audition sont alternés.

La consigne est de se focaliser soit sur la forme globale soit sur la forme locale qui peut être soit un cercle ou un carré dans les blocs de vision, soit une séquence ascendante ou descendante pour les blocs auditifs. Chaque essai commence par une croix de fixation centrale ou bien le mot « Ecoutez » présenté pendant 1000 ms. Le stimulus visuel est ensuite présenté au centre de l'écran pendant 150 ms

ou bien la mélodie auditive est présentée sous casque audio. L'intervalle entre chaque essai est de 1500 ms. Les participants doivent appuyer soit sur un bouton rouge si la cible est un cercle ou une séquence ascendante soit sur un bouton vert si la cible est un rond ou une séquence descendante. La couleur du bouton de réponse est contre-balancée entre les participants. Les stimuli sont présentés sur un écran Dell 1901 FP. Les expériences ont été montées avec le logiciel E-prime et le PC Dell GX280. Les stimuli auditifs sont présentés sous casque (Sennheiser HD 212Pro).

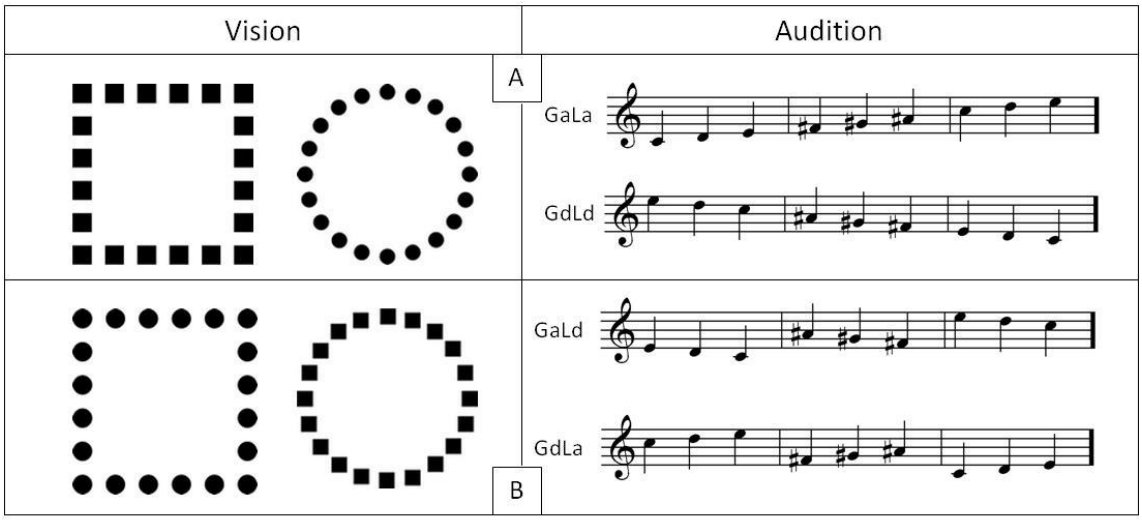


Figure 36. Stimuli congruents (A) et non congruents (B) en vision et en audition.

2.2. Résultats

Deux participants ayant répondu de façon aléatoire pendant la tâche auditive ont été exclus des analyses. Pour chaque modalité, une analyse de variance avec deux facteurs intra-sujets (traitement : global vs local ; congruence : congruent vs non congruent) a été menée. Les analyses ont été réalisées sur les temps de réponse (TR) et les bonnes réponses (%). Les erreurs et les essais d'entraînement ont été exclus des analyses des TR ainsi que les essais dépassant de 3 *ET* la moyenne de chaque participant. Les résultats sont présentés dans la Figure 37.

2.2.1. Modalité visuelle

L'analyse sur les bonnes réponses indique un effet plafond. Les performances sont équivalentes pour les formes globales (M = 97.31%, ET = 3.7%) et locales (M = 96.85%, ET = 5.2%), $F(1,17) = 0.25$, $p = .62$. Un effet principal de la congruence est observé, les formes sont mieux identifiées en situation congruente que non congruente $F(1,17) = 11.69$, $p < .005$, $\eta^2_p = .41$. Aucune interaction entre le traitement et la congruence n'est observée, $F(1,17) = 1.31$, $p = .26$.

L'analyse sur les TR indique un avantage du traitement global en vision, $F(1,17) = 50.69$, $p < .001$, $\eta^2_p = .73$; les grandes formes (M = 290 ms, ET = 95 ms) sont plus rapidement identifiées que les petites (M = 377ms, ET = 115 ms). Un effet significatif de la congruence est également observé $F(1,17) = 34.25$, $p < .001$, $\eta^2_p = .66$: les formes sont traitées plus rapidement dans la condition congruente (M = 316 ms, ET = 106 ms) que dans la non congruente (M = 351 ms, ET = 120 ms). L'interaction entre la congruence et le traitement est significative, $F(1,17) = 28.11$, $p < .001$, $\eta^2_p = .62$. Les petites formes sont traitées plus lentement quand elles sont dans des configurations non congruentes, $F(1,17) = 39.77$, $p < .001$, $\eta^2_p = .70$, révélant donc un effet d'interférence globale. A l'inverse, le traitement au niveau global n'est pas affecté par la congruence ($p > .15$).

2.2.2. Modalité auditive

L'analyse sur les bonnes réponses indique que les participants identifient de façon plus précise la direction de la mélodie globale (M = 95.15 %, ET = 8.78 %) que les triolets locaux (M = 74 .91 %, ET = 30.4 %), $F(1,17) = 19.86$, $p < .001$, $\eta^2_p = .53$. Ils sont aussi meilleurs dans la condition congruente (M = 96%, ET = 6.8 %) que dans la condition non congruente (M = 55%, ET = 30,1%), $F(1,17) = 46.16$, $p < .001$, $\eta^2_p = .73$. Les directions des triolets et des mélodies sont traitées de façon différente en fonction de leur congruence, $F(1,17) = 16.311$, $p < .001$, $\eta^2_p = .48$. Un effet d'interférence globale est observé ; les participants sont moins bons pour identifier la direction des triolets quand ils font partie d'une mélodie non congruente, $F(1,17) = 29.24$, $p < .005$, $\eta^2_p = .63$. Cependant,

l'identification de la mélodie globale est aussi moins bonne quand elle est constituée des triolets non congruents, $F(1,17) = 12.16$, $p < .005$, $\eta^2_p = .41$, révélant ainsi une interférence locale.

Un sujet a été exclu de l'analyse des TR car ses temps de réponse dans la condition locale sont supérieurs à 3*ET* de ceux du groupe. Les participants sont plus rapides pour identifier la mélodie globale ($M = 419$ ms, $ET = 163$ ms) que les triolets locaux ($M = 975$ ms, $ET = 593$ ms), $F(1,16) = 24.91$, $p < .001$, $\eta^2_p = .61$. Ils répondent plus vite dans la condition congruente ($M = 453$ ms, $ET = 198$ ms) que non-congruente ($M = 940$ ms, $ET = 575$ ms), $F(1,16) = 25.58$, $p < .001$. Il y a une interaction significative entre la congruence et le niveau de traitement, $F(1,16) = 11.92$, $p < .001$, $\eta^2_p = .42$. L'effet d'interférence globale est observé, les participants sont plus lents pour identifier la direction des triolets quand ils constituent une mélodie non congruente, $F(1,16) = 21.43$, $p < .005$, $\eta^2_p = .57$. L'interférence locale est aussi observée, la direction des triolets non congruents interfère avec l'identification de la mélodie globale, $F(1,16) = 10.64$, $p < .005$, $\eta^2_p = .4$.

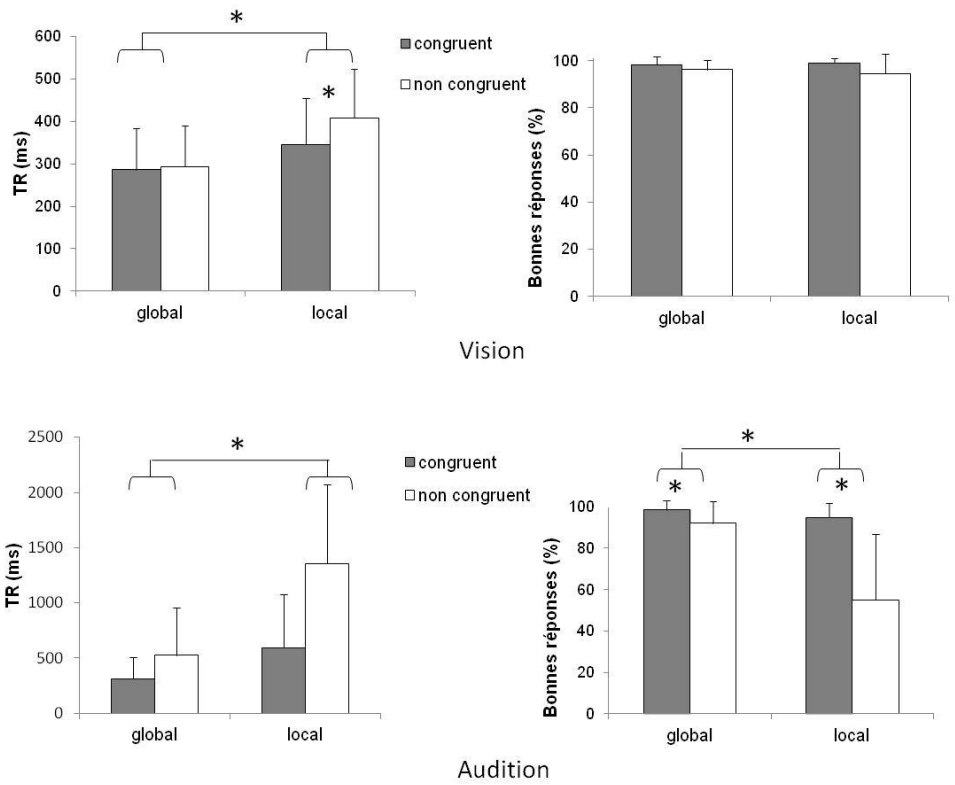


Figure 37. Temps de réponse moyen et pourcentage de bonnes réponses en vision et en audition pour les stimuli congruent et non congruent pour les conditions globales et locales. Les barres représentent les erreurs standards et * = $p < .01$.

2.2.3. Corrélations entre les deux modalités

Dans le but d'explorer si les mêmes traitements sont impliqués en vision et en audition, des corrélations de Pearson ont été calculées sur : a) l'avantage du traitement global, b) l'interaction entre la congruence et le niveau de traitement et c) l'effet d'interférence. Pour répondre à ces questions, deux corrélations ont été calculées à chaque fois : une concernant la corrélation entre les TR en vision et en audition et une autre concernant la corrélation entre les TR en vision et les bonnes réponses en audition. En vision, seulement les corrélations sur les TR sont fournies à cause de l'effet plafond du taux de bonnes réponses dans cette modalité. En audition, les corrélations sur les taux de bonnes réponses sont présentées puisque le taux de réponses correctes est considéré comme reflétant une mesure plus sûre que les TR dans cette modalité. En effet, contrairement à la vision, l'information auditive est traitée de façon séquentielle et les participants doivent attendre la fin de la séquence avant de répondre. Ainsi, les TR en

audition ne sont pas nécessairement une mesure pertinente du moment où les participants ont perçu les patterns montants ou descendants. Néanmoins, les résultats sur les TR en audition sont présentés car les résultats observés sur cette mesure correspondent à ceux observés sur les TR en vision. Les corrélations sont présentées dans la Figure 38.

Premièrement, étant donné qu'un avantage du traitement global est observé en audition et en vision au niveau du groupe, nous avons exploré si les mêmes participants présentent cet avantage global dans les deux modalités. Dans ce but, nous avons calculé une nouvelle variable (avantage global) en soustrayant les scores des conditions globales aux scores des conditions locales en vision et en audition. Les résultats indiquent que les individus plus rapides pour identifier une forme visuelle globale sont aussi plus rapides, $r(15) = .549$, $p < .03$, et meilleurs, $r(16) = -.464$, $p = .052$ pour identifier la direction d'une mélodie globale.

Deuxièmement, nous avons évalué la stabilité de l'interaction du niveau de traitement avec la congruence entre les modalités. Une nouvelle variable (effet interaction) a été calculée pour chaque modalité et chaque variable dépendante comme suit : global non congruent – global congruent – local non congruent + local congruent. Nous observons que les participants qui sont plus sensibles à l'effet d'interaction dans les conditions locales que dans les conditions globales en vision montrent la même sensibilité en audition. La corrélation entre les TR en vision et en audition est tendancielle, $r(15) = .41$, $p = .09$ et une corrélation significative entre les bonnes réponses en audition et les TR en vision est observée $r(16) = -.55$, $p < .05$.

Troisièmement, l'interférence du global sur le local (local congruent – local non congruent) ainsi que l'interférence du local sur le global (global congruent – global non congruent) ont été calculées pour évaluer si les mêmes individus sont sensibles à cette interférence spécifique dans les deux modalités. Les corrélations entre l'interférence du global sur le local en audition et en vision ne sont pas significatives (TR en vision et Tr en audition : $r(15) = -.17$, $p = .41$; TR en vision et taux de bonnes réponses en audition $r(16) = -.376$, $p = .11$). Ces corrélations

non significatives ne sont pas surprenantes étant donné la variabilité des performances dans la condition locale en audition, probablement due à la performance aléatoire de certains participants. Cependant, nous observons que les participants sensibles à l'interférence des formes globales sur les formes locales (interférence du global sur le local) en vision ne sont pas sensibles à l'interférence des triolets sur l'identification des mélodies globales (interférence du local sur le global) en audition. Les corrélations de Spearman effectuées indiquent que les taux de bonnes réponses en audition et les TR en vision sont significativement corrélés, $r_s(16) = .624$, $p < .01$. La corrélation entre les TR en vision et en audition est non significative $r_s(15) = .287$, $p = .26$.

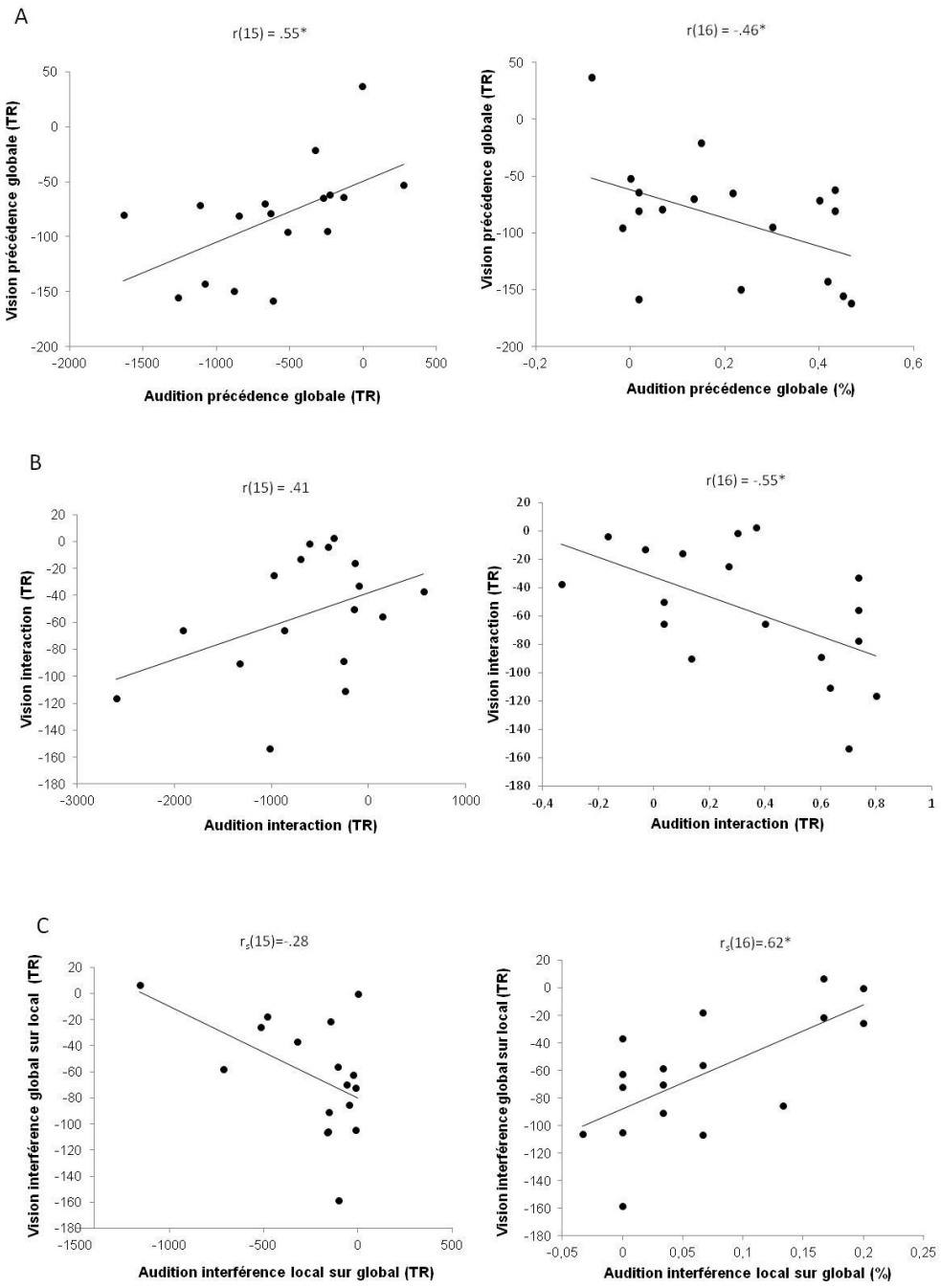


Figure 38. Corrélations entre les modalités visuelle et auditive pour : (A) l'effet de précédence globale ; (B) l'effet d'interaction et (C) l'effet d'interférence. Les corrélations sont présentées entre les temps de réponses en vision et en audition (à gauche) et les TR en vision et le pourcentage de bonnes réponses en audition (à droite). * = $p < .05$.

2.3. Discussion de l'Etude 4

Dans cette étude, nous avons voulu démontrer que l'Effet de Précédence Globale (EPG) en vision et en audition repose sur des mécanismes communs.

Pour cela, nous avons utilisé de nouveaux stimuli auditifs hiérarchisés (Justus & List, 2005) pour imiter le paradigme de Navon (1977) en vision. Ces stimuli permettent de manipuler de façon indépendante le traitement local et global dans la modalité auditive, contrairement aux stimuli contour-intervalle (Peretz, 1990). Les mêmes participants ont participé à la tâche d'identification en audition et en vision. Les résultats indiquent un avantage du traitement global sur le traitement local dans les modalités auditive et visuelle. La direction des mélodies est mieux et plus rapidement identifiée que la direction des triolets en audition et les larges formes visuelles sont identifiées plus rapidement que les petites formes les constituant en vision. De plus, l'EPG a été observé en vision et en audition, que ce soit au niveau des TR ou bien des bonnes réponses dans cette modalité. La direction des triolets est moins correctement identifiée quand ils composent une forme mélodique globale non congruente et les petits éléments visuels sont identifiés plus lentement quand ils composent une forme non congruente.

Le second résultat majeur dans cette étude est l'observation de corrélations significatives entre les deux modalités. En effet, quand l'EPG est observé dans une modalité chez un participant, ce même participant démontre un EPG identique dans l'autre modalité. De plus, l'interaction entre le niveau de traitement (global vs. local) et la congruence (congruent vs. non congruent) est observée comme étant stable entre les deux modalités. Enfin, en accord avec notre hypothèse de mécanismes similaires en vision et en audition, les individus sensibles à l'interférence du global sur le local en vision (la forme globale interfère avec l'identification des éléments locaux) sont moins sensibles à une interférence du local sur le global en audition (les triolets locaux non congruents interfèrent avec l'identification de la mélodie globale). Cette dernière corrélation est particulièrement intéressante car elle est observée dans les conditions globales auditives où le taux de bonnes réponses moyens est au-dessus du niveau du hasard. Cette corrélation négative est observée entre l'interférence des triolets locaux sur l'identification de la forme mélodique globale en audition et l'interférence de la forme globale sur l'identification des éléments locaux en vision. Ceci suggère donc que les participants traitent l'information de la même façon en audition et en vision. En effet, malgré l'observation d'un avantage du

traitement local en audition, ces données indiquent que certains participants traitent l'information de façon globale quelle que soit la modalité. En conséquence, ces participants sont gênés par la forme globale quand ils doivent identifier la forme locale mais ne semblent pas gênés par la direction des triolets locaux quand ils doivent identifier la direction des mélodies globales. A l'inverse, une autre partie des participants traitent l'information localement : ils ne sont pas gênés par la forme globale quand ils doivent identifier les éléments locaux en vision mais ils sont perturbés par les triolets locaux pour identifier les mélodies globales. Ces résultats suggèrent donc que des processus similaires sont impliqués en vision et en audition pour l'identification des stimuli hiérarchiques. De plus, ces résultats indiquent que chaque individu est plus ou moins sensible à l'interférence globale ou locale et qu'il y a des différences inter-individuelles dans la façon de traiter l'information. Ainsi, ces résultats confortent l'existence de styles cognitifs distincts dans la population.

Chaque esprit humain partage des capacités cognitives communes, cependant il existe des styles cognitifs. Ces styles cognitifs sont définis comme étant une approche individuelle stable lors de l'exécution de tâches cognitives simples, qui est liée autant à l'intelligence qu'à la personnalité (Kozhevnikov, 2007). Classiquement, on distingue deux grands styles cognitifs : les styles analytique versus holistique (Allison & Hayes, 1996). Cela correspond tout à fait à ce que nous observons dans cette étude, certains participants sont plus dépendants de l'information globale (style holistique) alors que d'autres sont plus indépendants de l'information globale (style analytique). Ces différents styles de traitement peuvent être aussi compris comme des façons différentes d'être dépendants des processus descendants. Le modèle d'itération (Bullier, 2001) propose que l'information globale est ré-injectée via des processus descendants durant la construction du percept visuel (Peyrin, et al., 2010). Certains auteurs soutiennent que des mécanismes communs contrôlent l'attention et influencent notre perception en audition et en vision (Shinn-Cunningham, 2008). Ainsi, les personnes qui sont sensibles à l'interférence globale dans ces deux modalités seraient plus dépendantes des processus descendants. Par conséquent, leurs perceptions seraient plus influencées par le percept global. A l'inverse, les

personnes qui montrent un effet d'interférence locale dans les deux modalités (sensibilité à l'information locale) seraient moins dépendantes des processus descendants, leur percept devrait être plus sensible aux propriétés du stimulus, c'est-à-dire au percept local.

Par ailleurs, une interférence locale a été observée en audition mais pas en vision. Une possible raison à cette absence d'interférence en vision est d'ordre méthodologique. Comme mentionné au Chapitre 2, l'EPG est un effet expérimental qui dépend des caractéristiques des stimuli ou des conditions expérimentales. Dans l'étude présentée ici, la tâche visuelle a été construite à priori pour induire un EPG. La taille de présentation des stimuli et le positionnement des stimuli entre eux ont été sélectionnés dans ce but. A l'inverse les données manquent sur les mécanismes qui peuvent créer une interférence globale ou locale en audition car relativement peu d'études ont été conduites sur cette question (Justus & List, 2005; List, Justus, Robertson, & Bentin, 2007; Sanders & Poeppel, 2007). L'effet de précédence locale rapporté dans la modalité auditive doit donc résulter de certains choix méthodologiques. Par exemple, la durée des stimuli ou bien la quantité de changement en termes de hauteur peut avoir induit un traitement local plus saillant. D'autres études seront nécessaires pour déterminer l'impact de cet aspect méthodologique sur l'interférence locale. Une autre explication possible à cette interférence locale en audition pourrait être liée à l'implication de processus attentionnels dans la tâche ici proposée. Comme la tâche auditive est plus difficile que la tâche visuelle (comme reflété par les scores des bonnes réponses en audition), des ressources attentionnelles supérieures sont probablement nécessaires pour effectuer la tâche. En effet, certaines études indiquent qu'une charge attentionnelle plus ou moins importante peut moduler l'observation d'une interférence globale ou locale en vision (Shedden & Reid, 2001). Un tel phénomène est possible ici et pourrait expliquer les résultats observés dans la modalité auditive.

Ivry et Robertson (1998) ont soutenu dans le cadre de la théorie du double filtrage qu'un traitement global ou local pourrait refléter un fonctionnement perceptif général pour traiter l'information, qui repose sur une asymétrie

hémisphérique. Ils supposent que la même asymétrie que celle observée en vision pour les fréquences spatiales devrait être observée en audition (i.e. l'information globale traitée par l'hémisphère droit et l'information locale traitée par l'hémisphère gauche). Cependant, les études EEG utilisant des stimuli lent-rapide en audition n'observent pas cette latéralisation (List, et al., 2007 ; Sanders & Poeppel, 2007). Néanmoins, là encore certains aspects méthodologiques permettent d'expliquer l'absence de latéralisation hémisphérique pour ce type de stimuli (Sanders & Poeppel, 2007). Cependant, malgré l'absence d'observation de latéralisation des stimuli auditifs, il existe des données comportementales à l'appui de mécanismes perceptifs communs entre les deux modalités. Par exemple, certaines études ont exploré le traitement global et local via le système haptique montrant une plus grande sensibilité à détecter des différences entre les formes globale et une moins grande habilité à détecter les formes locales comme la profondeur ou la courbure (Norman, Norman, Clayton, Lianekhammy, & Zielke, 2004 ; Phillips, et al., 2009). D'autres études indiquent que l'exploration des objets par le système haptique repose plus sur l'information locale au début de l'exploration mais s'appuie à la fois sur les formes globales et locales par la suite (Lakatos & Marks, 1999). Förster (2011) rapportent aussi une influence intermodale entre les traitements global et local dans toutes les modalités sensorielles. Par ailleurs, Pressnitzer & Hupé (2006) observent que les systèmes auditifs et visuels ont une façon similaire de traiter les stimuli ambigus. Pourtant, même s'il y a des éléments suggérant des mécanismes perceptifs communs en vision et en audition, plus d'études sont nécessaires pour établir s'il existe une stabilité de perception entre les deux modalités. A notre connaissance, notre étude est la première à mettre en évidence une stabilité intra-personnelle dans le type de traitement de l'information entre deux modalités.

Cette tâche, dans le cadre de l'autisme, pourrait permettre de tester l'amodalité d'un biais de traitement local. De plus, elle permettrait d'établir si les personnes autistes présentent un déficit du traitement global (théorie WCC, Happé & Frith, 2006) en observant si elles présentent un moins grand avantage du traitement global par rapport au groupe contrôle que ce soit en audition ou en vision. Par ailleurs, cette tâche a aussi l'intérêt de pouvoir tester si le percept des

personnes autistes est moins dépendant des traitements descendants dans les deux modalités (théorie EPF, Mottron et al., 2006). En effet, cette tâche nous a permis de mettre en évidence plusieurs styles cognitifs, de personnes plus ou moins dépendantes aux processus descendants. Une étude est actuellement en cours sur un groupe de personnes autistes et un groupe contrôle pour tester ces hypothèses.

Cette question de l'influence des processus ascendants et descendants dans la cognition autistique semble être un autre point important, puisque même s'ils ne sont pas l'équivalent du traitement global et local, ces processus sont largement impliqués dans la perception et le traitement de formes au niveau global ou local (Poirel, Pineau, & Mellet, 2006). Si la question de l'implication des processus ascendants et descendants dans l'autisme a été étudiée en vision (Soulières, et al., 2007), cette question n'a jamais été soulevée en audition. C'est le but du Chapitre 9.

Chapitre 9. L'implication des processus ascendants et descendants en audition dans les TSA: Etude 5

La théorie du surfonctionnement perceptif (EPF, Mottron, et al., 2006) ainsi que la théorie de la faiblesse de cohérence centrale (WCCHappé & Frith, 2006) postule l'existence d'une relation atypique entre les processus ascendants et descendants dans l'autisme. La théorie EPF propose que les personnes autistes sont moins dépendantes des processus descendants contrairement aux personnes typiques. La théorie WCC propose que les processus descendants soient déficitaires dans l'autisme. En audition, aucune étude n'a étudié l'implication des processus ascendants et descendants dans la formation d'objets sonores chez les personnes autistes. Pourtant, comme présenté au Chapitre IV, Bregman (1990) décrit deux types de processus impliqués dans la formation d'objets sonores : l'analyse primaire qui serait un processus ascendant et l'analyse guidée par les schémas qui renvoie à un processus descendant.

Pour déterminer l'impact des processus ascendants et descendants dans l'analyse de scènes auditives, Bey et McAdams (2002 ; 2003) ont utilisé une tâche de reconnaissance de mélodies (voir Figure 39). La tâche des auditeurs consistait à indiquer si une mélodie de référence était identique ou non à une mélodie cible. La mélodie de référence était présentée soit avant soit après une séquence auditive, la mixture auditive, comprenant la mélodie cible et des sons distracteurs. Pour évaluer à partir de quel moment les auditeurs commencent à percevoir deux mélodies distinctes (c'est-à-dire à ségréger deux mélodies), plusieurs conditions de séparation fréquentielle entre la mélodie cible et les sons distracteurs ont été utilisées (de 0 à 24 demi-tons de séparation). Les auteurs observent que plus le degré de séparation fréquentielle entre la mélodie cible et des sons distracteurs est important, meilleures sont les performances des auditeurs. Ce résultat témoigne d'un effet des processus ascendants sur la ségrégation des mélodies et en particulier du rôle du traitement de la hauteur. Les résultats montrent également des performances plus élevées quand la

mélodie de référence est présentée avant la mixture auditive plutôt qu'après. Ce résultat indique que la connaissance préalable de la mélodie aide les auditeurs à reconnaitre la mélodie dans le mélange et suggère ainsi une influence des processus descendants dans la ségrégation des mélodies. Les auteurs concluent que les deux processus sont importants dans l'analyse de scènes auditives et qu'ils sont partiellement indépendants. En effet, il est nécessaire que, dans la mixture auditive, la mélodie cible et les distracteurs soient un minimum distants en terme de distance fréquentielle pour que les participants puissent ségréger les deux flux lorsque la mélodie de référence est présentée avant le mélange. Ainsi, les processus descendants sont dépendants de l'analyse primaire de la scène auditive déjà effectuée. Lorsque la mélodie est présentée avant et que la mélodie cible et les sons distracteurs sont complètement entremêlés (i.e., quand il n'y a pas de distance fréquentielle entre les deux), Bey & McAdams (2002) observent que les participants sont incapables de réaliser la tâche. Ils interprètent cette difficulté comme la preuve que dans cette condition la connaissance antérieure de la mélodie cible (via le stockage de la mélodie de référence présentée avant le mélange) n'aide pas à ségréger ultérieurement les sons distracteurs de la mélodie cible. Ainsi dans cette condition particulière les processus descendants n'aident pas à réaliser la tâche.

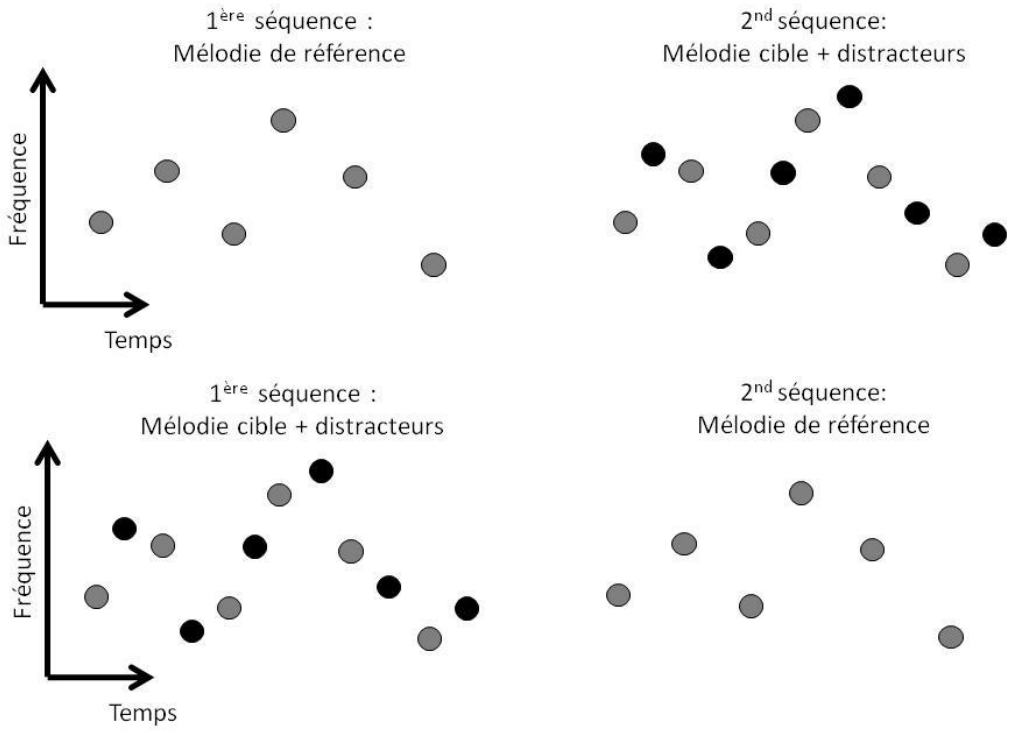


Figure 39. Illustration des conditions avant (i.e., la mélodie cible est présentée avant la mixture mélodique) et après (i.e., la mélodie cible est présentée après la mixture mélodique) de l'étude de Bey & McAdams (2003). Quand la mélodie est présentée seule on parlera de mélodie de référence et quand cette mélodie (identique ou modifiée) est présentée avec les sons distracteurs on parlera de mélodie cible.

La question des capacités de ségrégation auditive dans l'autisme a déjà été abordée. Par exemple, les résultats d'une étude indiquent que les personnes autistes ont besoin d'un plus grand ratio signal/bruit pour percevoir une syllabe dans du bruit (Alcántara, Weisblatt, Moore, & Bolton, 2004). Par ailleurs, les personnes Asperger montrent une Mismatch Negativity (MMN) de moins grande amplitude que des participants typiques lors de la perception de deux flux distincts de sons purs typiques (Lepistö et al., 2009). Cependant, aucune étude n'a jamais questionné l'impact des processus ascendants et descendants dans la formation de flux sonores dans l'autisme.

Nous proposons ici d'utiliser la tâche de mélodies entremêlées où la mélodie est présentée avant puisque cette condition permet de tester l'implication des processus ascendants et descendants dans une même tâche. Ainsi, si la formation d'objets sonores pour les participants TSA, par rapport aux participants contrôles, repose plus sur les processus ascendants que descendants (selon la

théorie EPF), ils devraient mieux réussir la condition où les processus descendants ne peuvent pas être utilisés pour réaliser la tâche. Nous postulons donc que dans la condition où la mélodie cible et les distracteurs sont complètement mélangés (i.e., distance fréquentielle nulle), le groupe TSA devrait mieux réussir la tâche que le groupe contrôle. Si à l'inverse les processus ascendants dans l'autisme ne jouent pas un plus grand rôle dans la formation de scènes auditives par rapport au groupe contrôle (selon la théorie WCC), aucune différence ne devrait être observée entre les deux groupes. Nous nous attendons aussi à ce que les performances du groupe TSA soient plus élevées que celles du groupe contrôle dans les conditions où la mélodie cible et les sons distracteurs sont proches en terme de degré fréquentiel. En effet, dans ces conditions un traitement plus local des notes de la part des personnes TSA leur permettrait de mieux retrouver la mélodie référence dans le mélange auditif.

1. Méthodologie

1.1. Participants

Vingt-sept personnes TSA et 26 personnes au développement normal ont participé à cette étude. Le groupe TSA est composé de 12 adultes (10M, âge moyen = 21.15, *ET* = 6.2) et 15 enfants (14M, âge moyen = 9.5, *ET* = 6.2). Le groupe contrôle est composé de 13 adultes (7M, âge moyen = 22.2, *ET* = 4.1) et de 13 enfants (9M, âge moyen = 9, *ET* = 1.22). Des descriptions détaillées de ces participants, ainsi que leur appariement, sont donnés p.77.

1.2. Stimuli

Cette tâche reprend la tâche développée par Bey & McAdams (2002, 2003). Trente-six mélodies et 36 séquences distractrices ont été créées avec le logiciel Finale. Chacune de ces séquences est composée de 6 notes, jouées avec un timbre de piano, et durant chacune 200 ms. Chacune des 36 mélodies ont une version originale et une version modifiée. Dans la version modifiée, deux notes, soit la

deuxième et la quatrième, soit la troisième et la cinquième, sont modifiées dans une amplitude maximale de 4 demi-tons, entrainant ainsi une modification du contour de la mélodie. Toutes les mélodies sont jouées dans un intervalle d'une octave. La note moyenne de toutes les mélodies est un La4. Dans la version initiale de cette tâche développée par Bey &McAdams (2002), cinq mélodies distractrices étaient associées à une mélodie cible dans le but de complètement camoufler cette mélodie quand les mélodies entremêlées sont présentées à la même fréquence moyenne. Puisque ces auteurs n'ont observé aucune différence de performances avec ces cinq mélodies distractrices, nous n'avons utilisé qu'une seule mélodie distractrice par mélodie cible. La mixture auditive est composée de 12 notes : les six notes de la mélodie cible et les six notes distractrices entremêlées. La première note de la mixture auditive est toujours celle de la mélodie cible. Toutes les mélodies durent 2400 ms.

1.3. Procédure

Deux mélodies de 6 notes, la mélodie de comparaison et la mixture auditive correspondante (comprenant la mélodie cible et la mélodie distractrice), sont présentées successivement aux participants. Dans la mixture auditive, quatre degrés de distance fréquentielle entre la mélodie cible et la mélodie distractrice sont testés : 0, 6, 12 et 24 demi-tons (dt) créant ainsi les quatre conditions expérimentales (voir Figure 40). Dans ces conditions, ce sont toujours les mélodies distractrices qui sont transposées vers les fréquences plus basses. Les mélodies de comparaison sont toujours présentées avant la mixture auditive, ainsi les participants ont une connaissance exacte de la mélodie qu'il faut parvenir à extraire. L'intervalle entre les séquences est de 1000 ms. Avant chaque essai, le mot « Ecoutez » est présenté pendant 2000 ms associé à un bip (la4) qui dure 300ms. Il y a 12 essais pour chacune des quatre conditions de distance fréquentielle, et la moitié des essais sont des paires identiques. Dans chacune des quatre conditions de distance fréquentielle, les essais sont choisis au hasard parmi 32 mélodies. La session d'entrainement est composée de 16 essais de difficulté croissante (4 essais par condition de difficulté). Les 4 mélodies

utilisées pour la phase d'entrainement ne sont pas utilisées durant la session de test.

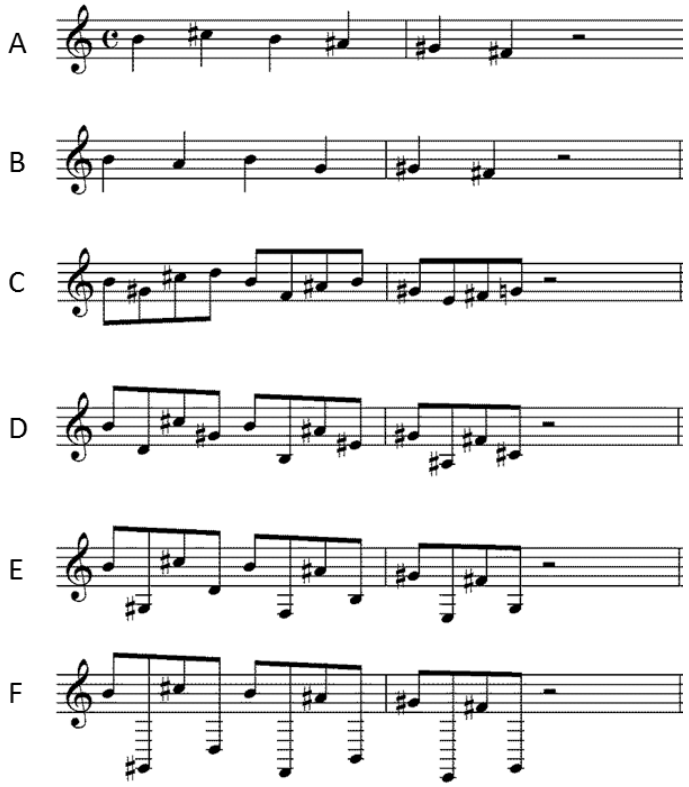


Figure 40. Exemples de séquences utilisés dans la tâche de ségrégation. A) Mélodie de référence, B) Mélodie cible différente, C) Mélodie cible + séquence distratrice (i.e., mixture auditive) condition 0dt, D) Mélode cible+ séquence distractrice (i.e., mixture auditive) condition 6dt, E) Mélode cible + séquence distractrice (i.e., mixture auditive) condition 12dt, F) Mélodie cible + séquence distratrice (i.e., mixture auditive) condition 24dt.

2. Résultats

Les données d'un adulte TSA, d'un adulte contrôle et d'un enfant contrôle n'ont pas été prises en compte car leurs taux de réponse se situaient à plus de 2 *ET* de la moyenne de leur groupe.

2.1. Analyse des *d'*

Une ANOVA avec le Groupe (TSA vs contrôle) et l'Age (adulte vs enfants) comme facteurs inter-sujets et la Condition (0, 6, 12, 24) comme facteur intra-

sujet a été réalisé sur les *d'* moyens. Les données sont résumées dans le Tableau 12. L'analyse indique que les performances augmentent globalement en fonction du degré de séparation en hauteur moyenne entre la mélodie cible et la mélodie distractrice, $F(3,141) = 13.57$, $p < .001$, $\eta^2_p = .23$. Les enfants ($M = .57$, $ET = .89$) présentent de moins bonnes performances que les adultes ($M = 1.31$, $ET = .81$), $F(1,47) = 23.99$, $p < .001$, $\eta^2_p = .34$. Une interaction est observée entre l'âge et les quatre conditions de distance fréquentielle, $F(3,141) = 2.29$, $p < .05$, $\eta^2_p = .04$ reflétant le fait que les enfants ont besoin d'un plus grand degré de séparation en hauteur moyenne que les adultes pour ségréger deux mélodies. Aucune différence de performances entre le groupe TSA ($M = 0.82$, $ET = 1.15$) et le groupe contrôle ($M = 1.15$, $ET = 0.81$), $F(1,47) = 1.87$, $p = .17$, n'est observée.

	0dt	6dt	12dt	24dt
TSA (*M, ET*)				
d'	**0.61 (.74)**	**0.51 (1.03)**	**0.93 (1.39)**	**1.24 (1.19)**
critère	**−0.22 (.57)**	**−0.06 (.55)**	**0.23 (.37)**	**0.17 (.55)**
Adultes (*M, ET*)				
d'	0.79 (.95)	.97 (1.04)	1.73 (.95)	1.92 (.94)
critère	−0.37 (.69)	−0.07 (.54)	0.23 (.39)	0.21 (.21)
Enfants (*M, ET*)				
d'	0.46 (.54)	0.17 (.91)	0.33 (1.38)	0.74 (1.12)
critère	−0.11 (.46)	−0.05 (.57)	0.22 (.37)	0.15 (.72)
Contrôle (*M, ET*)				
d'	**0.35 (.49)**	**1.31 (1.05)**	**1.39 (.80)**	**1.41 (.92)**
critère	**−0.62 (.64)**	**−0.21 (.52)**	**0.52 (.39)**	**0.39 (.61)**
Adultes (*M,ET*)				
d'	0.57 (.39)	1.99 (.88)	1.67 (.75)	1.81 (.91)
critère	−0.51 (.46)	−0.03 (.33)	0.42 (.35)	0.24 (.42)
Enfants (*M, ET*)				
d'	0.15 (.51)	0.67 (.75)	1.12 (.78)	1.04 (.81)
critère	−0.74 (.78)	−0.36 (.61)	0.61 (.42)	0.52 (.75)

Tableau 12. *d'* moyen et critère de décision moyen pour les quatre conditions de la tâche de ségrégation (0, 6, 12, et 24 dt) pour les groupes TSA et contrôle (enfants et adultes).

Une interaction est néanmoins observée entre les groupes (contrôle et TSA) et les différentes conditions de la tâche, $F(3,141) = 4.31$, $p < .01$, $\eta^2_p = .08$ (voir Figure 41). L'hypothèse étant que le groupe TSA devrait mieux réussir quand la mélodie cible est complètement entremêlée à la mélodie distractrice, un contraste

spécifique a été testé : -3(0dt), 1(6dt), 1(12dt), 1(24st). Ce contraste est significatif, $F(1,47) = 4.45$, $p < .05$, indiquant que, par rapport au groupe contrôle, le groupe TSA réussit mieux la condition 0dt par rapport aux autres conditions. Un autre contraste orthogonal (0, -2, 1, 1) est significatif, $F(1,47) = 4.42$, $p < .05$, indiquant de moins bonnes performances du groupe TSA dans la condition 6st par rapport aux autres conditions. L'autre contraste orthogonal (0, 0, -1, 1) est non significatif, $F(1,47) = 1.42$, $p = .23$.

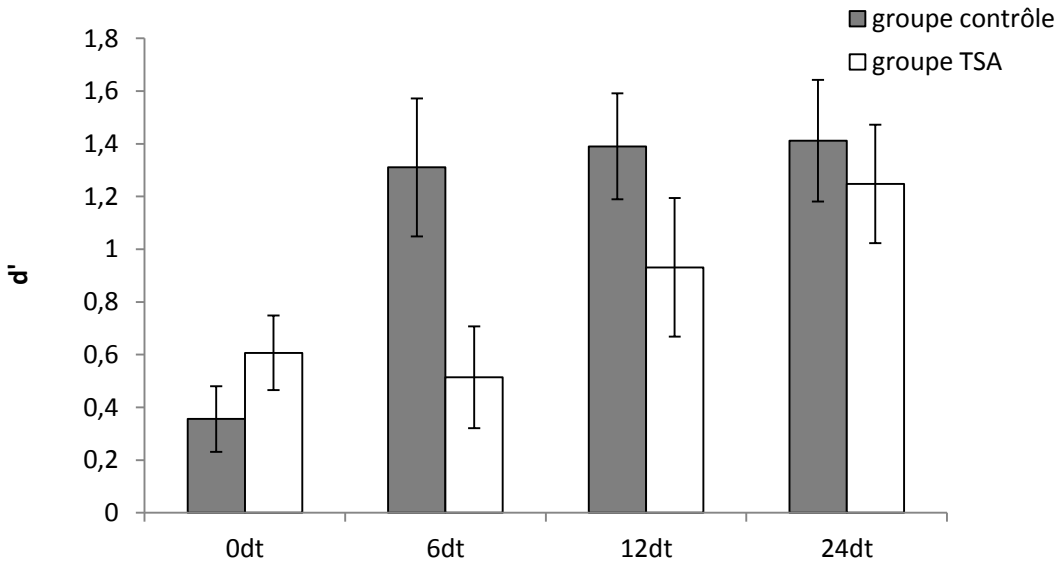


Figure 41. *d'* moyen à la tâche de ségrégation de mélodies pour le groupe contrôle et du groupe TSA en fonction des 4 conditions (0dt, 6dt, 12dt, 24dt). Les barres représentent les erreurs standards.

Afin de mieux comprendre l'impact de l'augmentation du degré de séparation en hauteur moyenne entre la mélodie cible et la mélodie distractrice sur les capacités de ségrégation, 3 nouvelles conditions ont été créées : diff6, diff12 et diff24. Chacune de ces conditions reflète la différence de performances entre les conditions 6, 12 ou 24 dt et la condition 0 dt. Une nouvelle ANOVA a été conduite avec comme facteurs inter-sujets le Groupe (TSA, contrôle) et l'Age (adulte, enfant) et la Condition (diff6, diff12 et diff24) en facteur intra-sujet. Une différence significative est observée entre les deux groupes, $F(1,47) = 5.45$, $p < .05$, $\eta^2_p = .11$, indiquant que le groupe contrôle ($M = 1.01$, $ET = .93$) a des

performances plus élevées que le groupe TSA (M = .29, ET = 1.36), quel que soit le degré de séparation fréquentielle entre la mélodie cible et la mélodie distractrice. L'analyse indique également une interaction entre les deux groupes et les différentes conditions, $F(2,94) = 3.27$, $p = .04$. Cette interaction, indique que le groupe TSA a de moins bonnes performances que le groupe contrôle dans la condition diff6, $F(1,47) = 4.41$, $p < .05$. Dans les conditions diff12 et diff24, aucune différence n'est observée entre les groupes, $F(1,47) = 1.41$, $p = .24$. Ces résultats suggèrent que, pour le groupe contrôle, quel que soit le degré de distance fréquentielle entre la mélodie cible et la mélodie distractrice, celui-ci est suffisant pour ségréger les deux mélodies. Dans le groupe TSA, on observe une difficulté particulière à ségréger les mélodies quand la mélodie cible est séparée de 6dt de la mélodie distractrice.

Une double interaction entre la condition, l'âge et le groupe est aussi observée, $F(2,94) = 3.51$, $p < .05$, $\eta^2_p = .07$. Cette double interaction peut s'expliquer par le fait que les performances des enfants contrôles augmentent plus en fonction du degré de séparation que celles des enfants TSA $F(1,47) = 4.65$, $p < .05$. De plus, une performance supérieure des adultes par rapport aux enfants est observé dans le groupe TSA dans toutes les conditions, $F(1,47) = 4.18$, $p = .04$, alors qu'une performance supérieure des adultes contrôles par rapport aux enfants contrôles est uniquement observé dans la condition diff6, $F(1,46) = 4.07$, $p = .04$.

Ainsi, les participants TSA semblent meilleurs pour extraire une mélodie d'un ensemble plus complexe lorsque celle-ci est complètement mélangée à une autre. A l'inverse, lorsque les mélodies cible et distractrice commencent à être séparées par un certain degré de distance fréquentielle, notamment dans la condition 6dt, les participants TSA ne sont pas autant aidés par cet indice que les participants contrôles pour ségréger les mélodies.

2.2. Critère de décision

Une ANOVA avec le Groupe (TSA, contrôle) et l'Age (adultes, enfants) comme facteurs inter-sujets et la Condition (0, 6, 12, 24) comme facteur intra-sujet a été menée sur les critères de décision. Les données sont résumées dans le Tableau 12. Aucune différence de stratégie n'est globalement observée entre le groupe TSA (M = .18, ET = .58) et le groupe contrôle (M = .13, ET = .54), $F(1,47) = .01$, $p = .95$. Une interaction est observée entre la population et les différentes conditions, $F(3,141) = 4.31$, $p < .01$, (voir Figure 42). Cette interaction reflète le fait que le groupe contrôle fait plus de fausses alarmes dans la condition 0dt, $F(1,47) = 4.81$, $p = .03$ et plus d'omissions dans la condition 12dt, $F(1,47) = 7.08$, $p < .05$, comparé au groupe TSA. Le participants TSA montrent la même proportion de fausses alarmes et d'omissions dans toutes les conditions. Aucune interaction double n'est observée, $F(3,141) = 1.82$, $p = .14$.

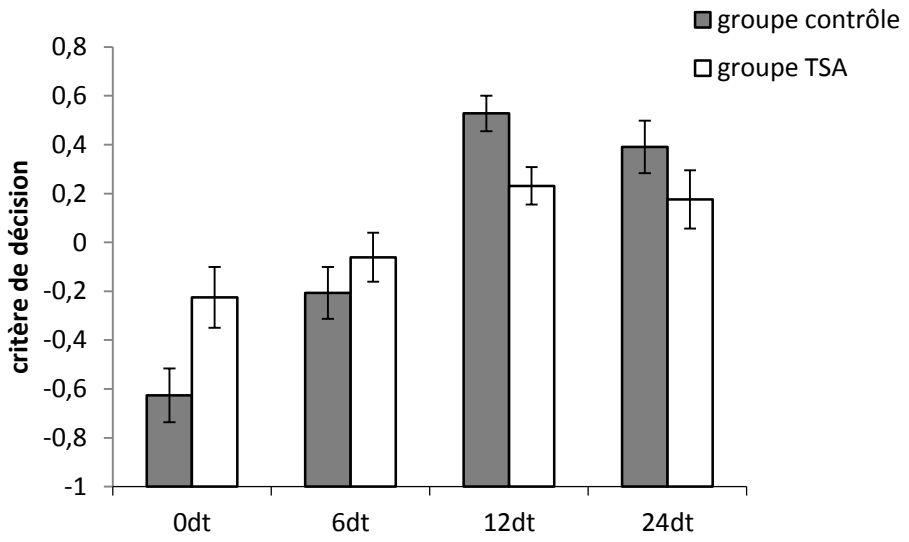


Figure 42. Critère de décision moyen à la tâche de ségrégation de mélodies pour le groupe contrôle et le groupe TSA aux conditions expérimentales : 0dt, 6dt, 12dt, et 24dt. Les barres représentent les erreurs standards.

2.3. Analyses développementales

Pour évaluer si le groupe contrôle et le groupe TSA ont un développement différent des processus impliqués dans cette tâche, deux ANOVAs ont été réalisées avec l'âge chronologique (mois) et le groupe (TSA, contrôle) comme facteurs inter-sujets sur les scores *d'* moyens à l'ensemble des conditions de la tâche et sur le contraste spécifique opposant les performances à la condition 0dt à celles des autres conditions.

Moyenne générale. Aucune différence entre les deux groupes, $F(1,24) = .55$, $p = .46$, ni aucune interaction entre le groupe et l'âge, $F(1,24) = .23$, $p = .62$, ne sont observées, ceci indiquant qu'il n'y a pas de différence au niveau du développement entre les deux groupes. Nous pouvons tout de même observer que trois participants TSA ont un d' moyen largement supérieur à la moyenne de leur groupe (*d'*> 1.5, moyenne générale du groupe : *d'*= .43), voir Figure 43.

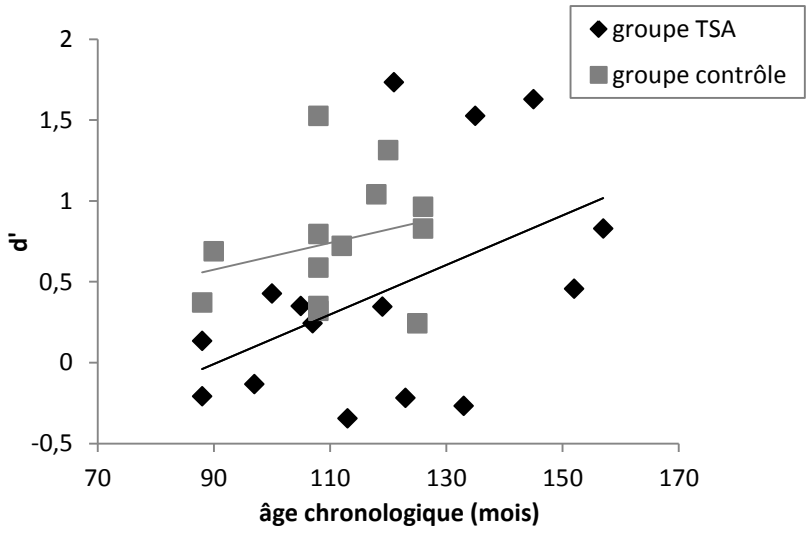


Figure 43. *d'* moyen à la tâche de ségrégation de mélodies en fonction de l'âge chronologique pour le groupe TSA et le groupe contrôle

Contraste spécifique (−3*0dt, 6dt, 12dt, 24dt). Aucune différence entre les deux groupes n'est observée, $F(1,24) = .03$, $p = .86$. De plus, aucune interaction entre le groupe et l'âge n'est observée $F(1,24) = .01$, $p = .91$, indiquant qu'il n'y a pas de différence développementale entre les deux groupes. Nous pouvons tout de même observer que trois sujets TSA ont un score négatif (indiquant des

performances inférieures dans la condition 0dt par rapport aux autres conditions). Ces trois sujets sont ceux qui présentent des performances moyennes supérieures dans cette tâche (voir Figure 44).

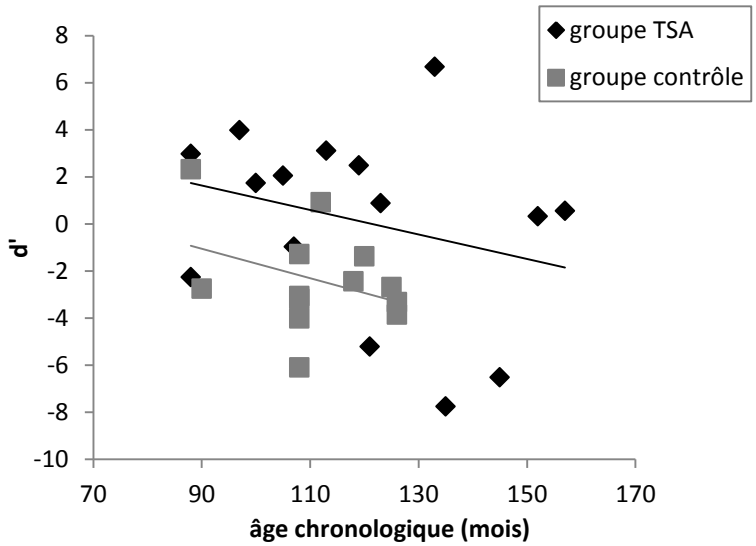


Figure 44. *d'* moyen en fonction du contraste spécifique (−3 0dt, 6dt, 12dt, 24dt) à la tâche de ségrégation de mélodies en fonction de l'âge chronologique pour le groupe TSA et le groupe contrôle.

3. Discussion de l'Etude 5

Avec cette tâche de reconnaissance de mélodies entremêlées nous avons voulu explorer l'influence des processus ascendants et descendants dans l'organisation auditive des personnes TSA. Dans cette tâche, une mélodie cible et une mélodie distractrice étaient entremêlées en fonction de quatre degrés de séparation fréquentielle : 0dt, 6dt, 12dt et 24dt. Dans la condition 0dt (i.e., lorsque dans la mixture auditive les mélodies cibles et distractrices sont complètement mélangées), les processus descendants (c'est-à-dire la connaissance de la mélodie de référence) n'interviennent pas pour réaliser la tâche. Dans les autres conditions, les deux processus interviennent dans la réalisation de la tâche. Selon la théorie EPF (Mottron et al., 2006), la perception des personnes TSA est moins dépendante des processus descendants. Notre hypothèse principale était donc que les personnes TSA devraient obtenir de meilleures performances que le groupe contrôle dans la condition 0dt par rapport aux autres conditions. Nous avons

aussi postulé que plus la mélodie cible et les sons distracteurs sont proches en terme de degré fréquentiel, meilleures seraient les performances du groupe TSA.

Le groupe TSA a obtenu de meilleures performances dans la condition 0dt que dans les autres conditions par rapport au groupe contrôle. Ce résultat semble donc indiquer une plus grande capacité des personnes TSA à extraire une mélodie d'un ensemble plus complexe. De plus, les résultats au niveau du critère de décision semblent confirmer cette supposition puisque dans la condition 0dt les participants contrôles montrent un biais de réponse envers les réponses identiques. Les participants TSA ne montrent pas de biais puisqu'ils commettent autant de fausses alarmes que d'omissions. Les critères de décision des participants contrôles indiquent une difficulté à réaliser la tâche, puisqu'ils n'arrivent pas à percevoir la différence entre la mélodie cible et la mélodie distractrice. Cette capacité à extraire un pattern d'un ensemble plus complexe rappelle les capacités de personnes autistes à extraire une figure simple dans un ensemble visuel plus complexe. Cette capacité supérieure à effectuer la tâche visuelle des figures emboitées (Shah & Frith, 1983) semble avoir son origine dans une plus grande implication du système perceptif dans cette tâche (Jarrold, et al., 2005 ; Lee, et al., 2007 ; Manjaly, et al., 2007 ; Ring, et al., 1999). Ces résultats en vision ont été interprétés comme reflétant le mécanisme de cartographie véridique dans l'autisme (Mottron, et al., 2009), leur permettant de mieux détecter plus facilement un pattern dans une structure plus complexe sur une base perceptive. Nos résultats en audition vont donc dans le sens de résultats observés en vision (Falter, et al., 2008 ; Perreault, et al., 2011 ; Soulières, et al., 2011). Ces résultats suggèrent ainsi que ce mécanisme serait amodal.

Cependant, le groupe TSA a aussi montré des difficultés à utiliser l'indice de distance fréquentielle pour ségréger les deux mélodies et ainsi retrouver la mélodie cible dans la mixture auditive. En effet, lorsqu'il existe une séparation fréquentielle entre la mélodie cible et la mélodie distractrice, cet indice acoustique censé aider la ségrégation semble en fait gêner les personnes TSA. Nous avons observé ce résultat plus particulièrement quand la mélodie cible est séparée de 6dt de la mélodie distractrice. Ce résultat est cohérent avec ce qu'ont

observé certains auteurs (Lepistö, et al., 2009). En effet dans une tâche de ségrégation auditive en EEG, ils observent que les participants Asperger ont des difficultés à utiliser la distance fréquentielle comme indice de ségrégation (observé avec MMN d'une plus faible amplitude). Etant donné les capacités supérieures des personnes autistes à discriminer des sons variant sur la hauteur sonore (Bonnel, et al., 2010 ; Bonnel, et al., 2003 ; Gomot, et al., 2008 ; Jones, et al., 2009), ces auteurs proposent que la ségrégation de flux soit une capacité de plus haut niveau, qui implique des processus perceptifs et cognitifs comme l'attention ou l'intégration d'un contexte (Snyder & Alain, 2007). Cette interprétation semble pertinente mais plutôt qu'une conclusion basée sur un déficit des traitements de plus haut niveau, nous proposons que la difficulté à utiliser les indices de distance fréquentielle pour ségréger les flux et la capacité supérieure du groupe TSA à extraire un pattern auditif quand les mélodies sont complètement entremêlées sont basées sur un mécanisme commun : une capacité perceptive supérieure.

Au vu de certains travaux dans la modalité visuelle, nous pensons pouvoir interpréter les résultats obtenus comme étant de nature attentionnelle (Remington, Swettenham, Campbell, & Coleman, 2009). En effet, selon la « théorie du chargement perceptif » (*Perceptual load theory*) de Lavie (1995), les capacités perceptives auraient un impact sur les capacités attentionnelles. Cette théorie est un modèle hybride des différents modèles de l'attention suggérant que les mécanismes perceptifs ont une capacité limitée mais sont également automatiques (Lavie, 2010). Ainsi, plus le chargement perceptif (i.e. la quantité d'informations nécessaires à la réalisation de la tâche) est élevé moins les distracteurs sont traités (la capacité perceptive est pleine, les éléments non pertinents pour réaliser la tâche ne sont pas traités). Lorsque la charge perceptive est faible, les distracteurs peuvent être plus facilement traités. Ainsi, les personnes autistes ayant des capacités perceptives plus élevées, elles auraient besoin d'une charge perceptive plus élevée pour ne plus être perturbées par les distracteurs non pertinents pour la tâche (Remington et al., 2009). C'est ce qu'observent ces auteurs : les personnes autistes ont besoin d'un nombre plus important d'éléments que les personnes contrôles pour ne plus être perturbés par

les éléments distracteurs (Remington et al., 2009). Ayant une capacité perceptive plus grande, les personnes autistes auraient donc plus de mal à inhiber les distracteurs (Adams & Jarrold, 2011). Dans notre étude, nous pouvons faire l'hypothèse que lorsque la mélodie distractrice a un certain degré de distance fréquentielle avec la mélodie cible, les notes peuvent être identifiées comme des notes distractrices. Les personnes contrôles ayant une capacité perceptive plus limitée que les personnes autistes, elles ne traiteraient pas ces notes et arriveraient mieux à identifier la mélodie cible. A l'inverse, les personnes TSA ayant une capacité de charge perceptive plus grande seraient incapables d'inhiber le traitement automatique des distracteurs et seraient donc gênées pour réaliser la tâche. Cette interprétation pourrait expliquer pourquoi les personnes autistes ont besoin d'un ratio signal/bruit plus élevé pour percevoir une syllabe (Alcántara, et al., 2004).

En conclusion, les personnes TSA ont un plus grand impact des processus ascendants dans l'organisation des scènes auditives. Ils démontrent ainsi une plus grande capacité à extraire un pattern auditif dans un ensemble auditif plus complexe. Ces résultats appuient la théorie EPF (Mottron et al., 2006) et ne vont pas dans le sens de la théorie WCC qui ne postule par de supériorité des processus ascendants l'autisme De façon surprenante, nous avons également observé que les personnes TSA présentaient une gêne à extraire ce pattern lorsque les mélodies distractrices sont transposées (la transposition est l'indice fréquentielle permettant au groupe contrôle de ségréger les mélodies). Cette gêne semble être de nature attentionnelle et témoigne d'une capacité de charge perceptive plus importante dans l'autisme. Ces deux résultats apparemment opposés pourraient refléter une plus grande capacité perceptive dans l'autisme et avoir une origine perceptive commune. De plus, les résultats de cette étude indiquent une supériorité des personnes autistes à détecter un pattern auditif sur une base perceptive, reflétant ainsi un mécanisme de cartographie véridique. Comme présenté au Chapitre 5, ce mécanisme pourrait expliquer la plus grande fréquence de l'oreille absolue, de synesthésies, et du syndrome savant dans l'autisme. Nous allons donc maintenant présenter le cas d'une personne savante autiste possédant l'oreille absolue.

Chapitre 10. Mécanisme de cartographie véridique dans le syndrome savant : Etude 6

Au Chapitre 5, nous avons présenté le phénomène d'oreille absolue dans la population typique et son émergence dans l'autisme à partir de la description de cas de personnes savantes. Nous avons postulé que les personnes autistes avec l'oreille absolue pourraient avoir des capacités perceptives supérieures à celles de personnes typiques avec l'oreille absolue. Nous avons également postulé que le mécanisme de cartographie véridique (i.e., mécanisme permettant l'association de structures partageant un haut degré de similitude perceptive), puisse expliquer l'occurrence plus élevée de trois phénomènes dans l'autisme : l'oreille absolue, la synesthésie et le syndrome savant. En effet, ces trois phénomènes reposent sur l'association de perceptions de différentes modalités ou bien de patterns partageant une structure perceptive commune.

Tout au long de ce travail doctoral, nous avons suivi une personne autiste savante (FC) possédant l'oreille absolue dont nous rapportons ici la description de cas. Nous avons exploré ses capacités musicales et auditives à travers les différentes tâches présentées précédemment. Une personne typique avec l'oreille absolue (AP) a également été recrutée pour comparer ses performances à celles de FC. Nous avons aussi évalué l'acquisition et le développement de ses capacités savantes ainsi que ses capacités synesthésiques chez lui et sa famille compte tenu de l'hypothèse d'une base génétique pour ce phénomène.

1. Description du cas

1.1. Histoire développementale

Les informations présentées ci-après ont été apportées par la famille de FC qui nous a également fourni les rapports médicaux. FC est le deuxième enfant

d'une famille de trois : il a un grand frère et une petite sœur. Sa mère est la plus jeune d'une famille de 3 enfants et son père est le 9ème enfant d'une famille de 10 enfants. La première année de vie de F.C a été marquée par des otites avec paracentèse bilatérale (i.e., excision du tympan). Sa mère rapporte que FC était un bébé assez calme. Les capacités motrices ont été normalement acquises même si une certaine hypo-activité a été rapportée. A l'âge de 2 ans, certains signes ont alarmé ces parents : absence de langage, balancement, et calme anormal. FC a donc été admis à l'hôpital neurologique où il a été hospitalisé pendant 2 semaines. L'examen physiologique (notamment auditif) s'est révélé normal cependant un diagnostic de psychose est évoqué. A l'âge de 3 ans, il intègre l'école maternelle. A 5 ans, FC ne possède toujours pas le langage et pour se faire comprendre, il utilise les mains des autres personnes. Entre 5 et 6 ans, F.C commence à parler et possède 10 mots dans son langage. A 6 ans, FC fait vraiment son entrée dans le langage mais il est marqué par de l'écholalie. Entre 5 et 10 ans, il a bénéficié de séances d'orthophonie ce qui l'a aidé à faire des progrès importants au niveau du langage. Durant cette période, il a aussi été intégré en hôpital de jour tout en suivant une maternelle classique. A 7 ans, il est intégré un CP CLISS et à l'âge de 11 ans il est intégré en classe UPI au collège. Le diagnostic d'autisme a été posé à 11 ans et 7 mois. Les résultats de l'ADI indiquent un score de 21 dans le domaine social, 40 dans la communication, 10 pour le comportement et 2 pour une anomalie du développement évidente avant 36 mois. Ainsi, ses scores sur l'échelle de l'ADI atteignent les scores seuils dans chaque domaine, indiquant donc un trouble envahissant du développement.

F.C a 21 ans au début de l'étude que nous présentons ici. Sa petite taille et sa silhouette fine lui donnent l'aspect d'un adolescent. Il n'a aucun problème pour établir un contact oculaire et sourit souvent. F.C présente quelques difficultés d'élocution sans doute liées à son retard de langage et il souffre également d'hypersensibilité auditive au bruit, aux sons inconnus et aux sons forts.

1.2. Evaluation Neuropsychologique

1.2.1. QI

L'évaluation du QI (WAIS, voir Tableau 13), nous permet d'observer que les points forts de FC sont la mémoire des chiffres (Note Standard, NS, = 10), les cubes (NS = 10) et les matrices (NS = 11). Ses points faibles sont les épreuves de vocabulaire (NS = 2), de compréhension (NS = 4), la séquence lettres-chiffres (NS = 1) et les symboles (NS = 2). Ainsi, nous pouvons remarquer que le raisonnement perceptif est correct et qu'il possède une excellente mémoire. Son indice de compréhension verbale est faible et nous avons pu observer une certaine lenteur du traitement verbal. Ses performances générales le placent dans la tranche limite inférieure de la population appariée.

WAIS	Subtest	Note standard (M = 10)
Indice de compréhension verbale(ICV) : 60	Similarités	3
	Vocabulaire	2
	Information	1
	Compréhension	4
Indice de mémoire de travail (IMT) : 75	Arithmétique	7
	Empan	10
	Séquences lettres chiffres	1
Indice d'organisation perceptive (IOP) : 93	Complément d'image	6
	Cubes	10
	Arrangement d'image	2
	Matrices	11
Indice de vitesse de traitement (IVT) : 54	Codes	2
	Symboles	2
QI verbal (ICV + IMT)		66
Performance IQ (IOP + IVT)		76

Tableau 13. Performances observées chez FC aux différentes sous test de la WAIS.

1.2.2. Autres tests neuropsychologiques

Les résultats aux différents tests neuropsychologiques sont résumés dans le Tableau 14. Comme présenté au Chapitre 1, le test des figures emboîtées est un test qui est normalement assez bien réussi par les personnes TSA. Pourtant, nous n'observons pas chez FC cette habileté. Ceci pourrait être dû à sa lenteur de traitement déjà mise en avant à la WAIS. Son rang percentile aux matrices de

Raven (95ème percentile) confirme une supériorité du raisonnement perceptif comme décrit à l'épreuve des matrices de la WAIS. Nous observons aussi une bonne mémoire spatiale. Associés à ses performances de mémoire auditive évaluée avec la WAIS, ces résultats indiquent de très bonnes capacités mnésiques en général. Nous observons aussi un très bon niveau de calcul mental.

Epreuve	Score	Normes
Test des figures emboitées	9/18	M = 10.86 (*ET*= 4.66) Z score : −0.4
Matrice de Raven	55	95ème percentile (norme adulte de 1985)
Mémoire spatiale (MEM III)	Note standard : 10 (empan visuel de 6)	
Estimation et calcul mental (Key math3)	Note standard : 13	

Tableau 14. Performance de FC au test des figures emboitées, aux matrices de Raven, au test de mémoire spatiale ainsi qu'au test d'estimation et de calcul mental.

1.3. Capacités musicales

F.C a grandi dans un environnement musical car son père et son frère sont de grands mélomanes. Selon sa mère, FC a commencé à jouer de la musique à partir de 9 ans. Elle rapporte l'avoir entendu un jour jouer sur l'orgue de la maison, une chanson qui venait de passer à la radio. C'était la première fois qu'elle l'entendait jouer. Depuis, il n'a jamais cessé de jouer de la musique. Il a essayé plusieurs instruments comme la guitare, l'accordéon, le violon ou encore la batterie mais il est toujours retourné au piano. FC a pris quelques cours de piano pendant 2 ou 3 ans. Lorsqu'il est interrogé sur la façon dont il a appris les notes, F.C explique qu'il associe chaque note blanche du piano avec les jours de la semaine (DO c'est lundi, Ré c'est mardi, *etc.*) et qu'il associe toutes les notes d'une octave (notes blanches et notes noires) aux mois de l'année (Do c'est janvier, Do# c'est février…). Il a aussi composé plusieurs mélodies, dont une s'appelle « Repezik », qu'il peut jouer sans cesse. Quand on le questionne sur son état émotionnel quand il joue ou écoute de la musique, il répond « je ne sais pas ».

1.4. Capacités savantes

1.4.1. Oreille absolue

Pour évaluer son oreille absolue, six dictées musicales de 10 notes ont été utilisées (Vangenot, 2000). Chaque note dure 1s et elles sont séparées par 2s de silence. Il y a plus d'une octave entre chaque note pour éviter l'utilisation de l'oreille relative (i.e., identification d'une note par rapport à une autre). Aucune note de référence n'est donnée au préalable. Compte tenu que FC ne sait pas écrire la musique, il lui est demandé de nommer les notes oralement. FC ne commet aucune erreur. FC possède aussi l'oreille absolue en production car il est capable de chanter les notes dont on lui donne le nom. De plus, il est aussi capable d'identifier correctement jusqu'à 6 notes dans un accord.

1.4.2. Calcul de calendrier

Pour tester sa capacité à calculer les calendriers, nous avons questionné FC sur le jour de 10 dates passées et 10 dates futures. Les années de ces dates allaient de deux ans en deux ans. Les mois ne se répétaient pas plus d'une fois aux cours des 10 questions, et il n'y avait pas plus de deux fois le même jour qui se répétait parmi les 10 réponses justes. Par exemple, il n'y avait pas plus de deux fois la réponse lundi ou mardi.

FC a fait une erreur sur les 10 dates passées et une erreur sur les 10 dates futures. Nous lui avons aussi posé 10 questions inversées : « combien de mois commencent par un lundi en 2007 ». FC a commis une erreur et deux omissions, puisqu'il peut y avoir plusieurs réponses, sur les 10 dates. FC possède donc la capacité à calculer les calendriers.

1.4.3. Calcul mental

Nous avons également constaté que F.C. est capable de faire des additions et des multiplications de 4 chiffres de tête. Pour réaliser le calcul mental, F.C., reporte réaliser la stratégie suivante : il passe par les heures/minutes/secondes

pour calculer, c'est-à-dire qu'il calcule en base 60. Par exemple : pour calculer 1728 + 2932 il les convertit en heure et en minutes (28'28" + 48'52"), ce qui donne = 1h17'40" qu'il reconvertit en chiffre : 4660.

2. Tests de ces capacités musicales et auditives

Pour offrir un point de comparaison aux capacités musicales et auditives de FC, un participant (AP) possédant l'oreille absolue[11] a été recruté. AP est une femme de 43 ans, musicienne professionnelle. FC et AP ont réalisé les tâches de discrimination musicale et auditive et de ségrégation sonore.

Les performances de FC et de AP ont été comparées à celles du groupe contrôle (N = 13) et du groupe TSA (N = 12) avec la méthode du *t* modifié (Crawford & Garthwaite, 2002 ; Crawford, Garthwaite, & Gray, 2003 ; Crawford, Garthwaite, & Howell, 2009):

$$(x - X) / (ET * \text{racine } (n+1)/n)$$

Un *t* supérieur à 1.96 indique une performance supérieure à celle du groupe de référence.

2.1. Tâches de discrimination musicale

FC et AP ont réalisé les tâches de discrimination musicale (pour la méthodologie de ces tâches, se reporter à l'Etude 1, Chapitre 6, p.85). Leurs performances ont été comparées à celles du groupe contrôle et du groupe TSA (voir le Tableau 15) Nous observons que dans la tâche de discrimination d'accords, FC et AP ont des performances supérieures à celles du groupe contrôle dans la condition tierce et quinte. Le fait qu'ils se distinguent du groupe contrôle mais pas du groupe TSA est due au fait que le groupe TSA présente une variabilité beaucoup plus grande que celle du groupe contrôle. Nous n'avons pas observé de différence de performances dans la tâche de discrimination mélodique.

[11] Son oreille absolue a aussi été testée avec le test des dictées musicales (Vangenot, 2000). Elle n'a fait aucune erreur pour identifier les notes des 6 dictées.

	FC	AP	Contrôles M (*ET*)	Valeur du **t modifié** vs. **groupe contrôle**	TSA M (*ET*)	Valeur du **t modifié** vs. **groupe TSA**
CONTOUR	2.76		2.76 (0.59)	−0.1	2.21 (0.91)	0.58
INTERVALLE	3.46		2.02 (0.74)	1.84	1.49 (1.13)	1.66
TRANSPOSITION	2.05		1.57 (0.87)	0.52	0.54 (1.07)	1.34
TIERCE	3.76	3.46	1.92 (0.64)	**FC: 2.72*** **AP : 2.27***	1.86 (0.94)	FC : 1.88 AP : 1.57
QUINTE	3.76	3.46	2.51 (0.32)	**FC: 3.79*** **AP : 2.87***	2.49 (1.21)	FC : 1.01 AP : 0.76

Tableau 15. Performances et valeurs du *t* modifié de FC et de AP comparé au groupe contrôle et au groupe TSA dans les tâches de discrimination mélodique, d'accord et de ségrégation. Les valeurs en gras suivies d'un astérisque (*) indiquent une performance significativement différente de celle du groupe contrôle et/ou du groupe TSA.

2.2. Tâches de discrimination auditives : fréquence, intensité et durée

Les tâches de discrimination de fréquences, d'intensité et de durée (pour la méthodologie de ces tâches se reporter à l'Etude 2, Chapitre 7, p.107) ont été réalisées par FC et AP. Leurs performances ont été comparées à celles du groupe contrôle et du groupe TSA (voir Tableau 16). Nous observons tout d'abord que FC obtient des performances supérieures dans certaines conditions de la tâche de discrimination de fréquences. Plus particulièrement, il présente des performances supérieures à celles du groupe contrôle dans les conditions 1% et 2%, ce qui n'est pas observé chez AP. Par conséquent, FC montre une hyper discrimination fréquentielle qui ne semble pas être liée à son oreille absolue. Nous observons aussi dans la tâche de discrimination de durée que FC obtient des performances supérieures à celles du groupe contrôle et du groupe TSA dans la condition 8 ms, ce qui n'est pas observé chez AP. FC montre donc également une hyper discrimination de la durée par rapport au groupe contrôle et au groupe TSA. Cette hyper discrimination de la durée pourrait être due à des capacités supérieures d'estimation, capacités savantes déjà observées dans l'autisme (Soulières et al., 2010). Ces capacités auditives semblent donc supérieures (sauf pour la dimension liée à l'intensité) à celles d'un groupe contrôle et d'une personne typique possédant l'oreille absolue.

	FC	AP	Groupe contrôle M (*ET*)	Valeur du **t modifié** vs. **groupe contrôle**	Groupe TSA M (*ET*)	Valeur du **t modifié** vs. **groupe TSA**
Fréquence						
1%	2.41	1.81	0.89 (0.65)	**FC : 2.22*** AP : 1.34	1.16 (0.79)	FC : 1.49 AP : 0.77
2%	3.93	3.11	1.76 (0.91)	**FC : 2.28*** AP : 1.42	2.05 (1.25)	FC : 1.43 AP : 0.8
3%	3.58	3.11	2.13 (0.97)	FC : 1.42 AP : 0.96	2.41 (1.49)	FC : 0.75 AP : 0.44
Durée						
8 ms	2.57	0.62	0.24 (0.57)	**FC : 3.88*** AP : 0.62	0.25 (0.43)	**FC : 5.09*** AP : 0.81
16 ms	2.57	2.43	0.98 (0.52)	**FC : 2.92*** **AP : 2.66***	0.84 (0.99)	FC : 1.66 AP : 1.52
24 ms	2.57	2.79	1.36 (0.62)	FC : 1.84 AP : 2.18	1.32 (1.08)	FC : 1.09 AP : 1.29
32 ms	2.57	2.79	1.71 (0.49)	FC : 1.66 AP : 2.08	2.01 (0.99)	FC : 1.78 AP : 0.96
Intensité						
1dB	1.12	1.12	0.32 (0.54)	FC : 1.39 AP : 1.39	0.44 (0.59)	FC : 1.08 AP : 1.08
2 dB	2.92	3.28	0.86 (0.99)	**FC : 1.99*** **AP : 2.3***	1.59 (0.83)	FC : 1.51 AP : 1.93
3 dB	3.28	3.28	1.82 (0.82)	FC : 1.69 AP : 1.69	1.94 (1.09)	FC : 1.16 AP : 1.16
4 dB	3.28	3.28	2.28 (0.77)	FC : 1.29 AP : 1.29	2.16 (1.18)	FC : 0.9 AP : 0.9

Tableau 16. Performances et valeurs du *t* modifié de FC et de AP comparé au groupe contrôle et au groupe TSA sur les tâches de discrimination de caractéristiques acoustiques (fréquence, durée, intensité. Les valeurs en gras suivies d'un astérisque (*) indiquent une performance significativement différente de celle du groupe contrôle et/ou du groupe TSA.

2.3. Tâches de ségrégation de mélodies

La tâche de ségrégation de mélodies (pour la méthodologie de cette tâche, se reporter à l'Etude 5, Chapitre 9, p.158) a été réalisée par FC et AP. Leurs performances ont été comparées à celles du groupe contrôle et du groupe TSA (voir Tableau 17). Nous observons que lorsque la mélodie cible est complètement entremêlées avec la mélodie distractrice, FC et AP obtiennent des performances supérieures à celles du groupe contrôle. Aucune autre différence n'est observée.

Leurs performances supérieures peuvent être dues dans cette condition à leur oreille absolue puisqu'ils sont capables de coder les notes, rendant plus aisée la reconnaissance de la mélodie cible. Aucune autre différence n'est observée.

	FC	AP	Contrôle M (*ET*)	Valeur du **t modifié** vs. **groupe contrôle**	TSA M (*ET*)	Valeur du **t modifié** vs. **groupe TSA**
0DT	2.76	2.2	0.57 (0.39)	**F.C : 5.36*** **AP : 3.99***	0.79 (0.95)	FC : 1.96 AP : 1.40
6DT	2.35	2.68	1.99 (0.88)	F.C : 0.38 AP : 0.74	0.97 (1.04)	FC : 1.26 AP : 1.57
12DT	2.76	3.06	1.67 (0.75)	F.C : 1.38 AP : 1.76	1.73 (0.95)	FC : 1.02 AP : 1.32
24DT	2.76	3.06	1.81 (0.91)	F.C: 1.01 AP : 1.32	1.92 (0.94)	FC : 0.83 AP : 1.14

Tableau 17. Performance et valeur du *t* modifié de FC et de AP comparé au groupe contrôle et au groupe TSA dans la tâche de ségrégation non transposée. Les valeurs en gras suivi d'un astérisque (*) indiquent une performance significativement différente de celle du groupe contrôle et/ou du groupe TSA.

Bey et McAdams (2002) ont également développé une version de la tâche de ségrégation où la mélodie de référence (présentée avant la mixture auditive) est transposée à la quinte. Cette tâche a été développée dans le but d'évaluer si la valeur absolue des notes aide à la ségrégation des mélodies. La méthode est identique à celle de la version non transposée. Nous avons développé cette tâche pour finalement ne pas l'intégrer au protocole de recherche, car jugée trop difficile pour des enfants. Cependant, cette tâche nous a semblé appropriée pour les questions concernant l'oreille absolue. Bien que l'oreille absolue permette à FC et AP de réussir la version classique de la tâche de ségrégation, elle ne leur sera d'aucune aide pour la réalisation de la version transposée de la tâche de ségrégation. Dans la version transposée, trois conditions ont été testées : 0, 6, et 12 demi-tons de séparation. Il y a 20 essais par conditions (10 identiques et 10 différents) présentés de façon aléatoire. Les résultats de cette tâche nous indiquent que FC obtient des performances supérieures à celle du groupe contrôle dans la condition 0dt ce qui n'est pas observé chez AP (voir Tableau 18). Par conséquent, un autre mécanisme que celui du codage de la note en valeur absolue

permet à FC d'extraire la mélodie transposée du mélange constitué de la mélodie cible et de la mélodie distractrice. Ses performances indiquent une capacité particulière d'extraction de patterns dans l'autisme pouvant être impliquées par le mécanisme de cartographie véridique (Mottron et al., 2009).

	performance FC	performance AP	groupe contrôle (N= 10)	Valeur du **t modifié** vs. **groupe contrôle**
0st	2.92	1.46	0.11 (0.76)	**FC : +3.47*** AP : 1.67
6st	2.92	2.68	1.23 (0.97)	FC : 1.65 AP : 1.41
12st	3.28	2.68	1.8 (0.93)	FC : 1.52 AP : 0.90

Tableau 18. Performances et valeurs du *t* modifié de FC et de AP comparé au groupe contrôle dans la tâche de ségrégation transposée. Les valeurs en gras suivi d'un astérisque (*) indiquent une performance significativement différente de celle du groupe contrôle.

En résumé FC semble présenter une capacité supérieure à détecter une modification de notes, comme observé dans la tâche de discrimination d'accords. Cette capacité peut être attribuable à son oreille absolue, puisque une personne contrôle possédant aussi l'oreille absolue montre la même capacité. FC présente aussi une sur-discrimination des fréquences et de la durée, capacités qui ne semblent pas liées à l'oreille absolue. De plus, FC semble aussi présenter une capacité supérieure à détecter les patterns comme observé dans la tâche auditive de ségrégation de mélodies transposées. Ainsi, il semble que FC présente des capacités auditives qui vont au-delà de l'oreille absolue, puisqu'un participant contrôle avec l'oreille absolue ne présente pas les mêmes performances.

3. Synesthésies

Pour évaluer si FC et sa famille possède des synesthésies, nous avons distribué un questionnaire à sa famille, du côté de son père. Sur 31 personnes, 24

ont rempli le questionnaire. Sur ces 24 personnes, 16 ont déclaré posséder des synesthésies (voir Figure 45).

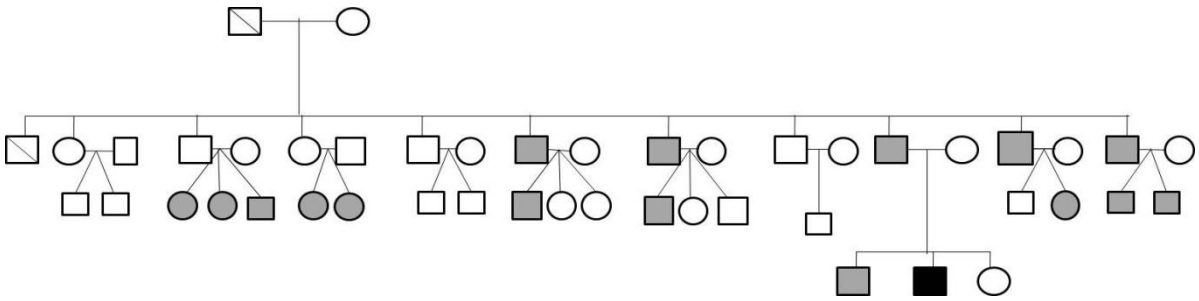


Figure 45. Arbre généalogique du côté du père de FC (carré noir). Les carrés grisés représentent les personnes possédant une forme de synesthésie (24 personnes sur 31 ont répondu aux questionnaires).

La plupart des synesthésies observées dans la famille sont de types visuo-spatial (14/16), c'est-à-dire une organisation particulière des chiffres, des jours de la semaine (voir Figure 46), des mois de l'année dans l'espace ou bien d'un lieu. Une de ces personnes décrit une de ces synesthésies ainsi : « Lorsque l'on me parle d'une ville, d'une région, d'un lieu que je connais, je le situe parfaitement sur une carte que je visualise. Par exemple on me dit « Bordeaux », je vois tout de suite la ville sur la carte de France. La carte se met bien évidemment à l'échelle nécessaire. Par exemple, si on me dit « place de la Concorde » à Paris, je visualise à la fois la place (souvenir d'y avoir été), mais je la vois surtout très bien sur une carte de Paris, que je visualise ». Certaines personnes de cette famille présentent même plusieurs synesthésies : visuo-spatial, audition colorée, odeur-forme. De plus, plusieurs d'entre eux, notamment le père de FC, son frère et certains oncles et cousins reportent avoir une sensibilité particulière à la musique, sans posséder l'oreille absolue. C'est-à-dire que pour ces personnes, l'écoute musicale requiert un matériel technologique particulier, un placement particulier des enceintes pour pouvoir écouter le son « le plus pur possible ». D'autres rapportent avoir des sensations physiques (larmes aux yeux, bouffées de chaleur, accélération du rythme cardiaque) lors de l'écoute de certaines musiques. Le questionnaire n'a pas pu être proposé à FC à cause de son niveau verbal. Sa mère rapporte

cependant certaines phrases de FC comme « ça sent bon comme au mois de juin à 7h le matin », ou bien que certains mots ou chiffres provoquent chez FC des sensations agréables comme des chatouillements. Il utilise aussi les mois de l'année pour indiquer une humeur, une émotion. Par exemple, pour indiquer un degré de douleur il va dire « ça fait mal comme au mois de Mars et demi » signifiant qu'il a assez mal ou bien il va dire qu'il est content « comme un mois de Juin » indiquant ainsi qu'il est très content puisque c'est le mois où les jours sont les plus longs.

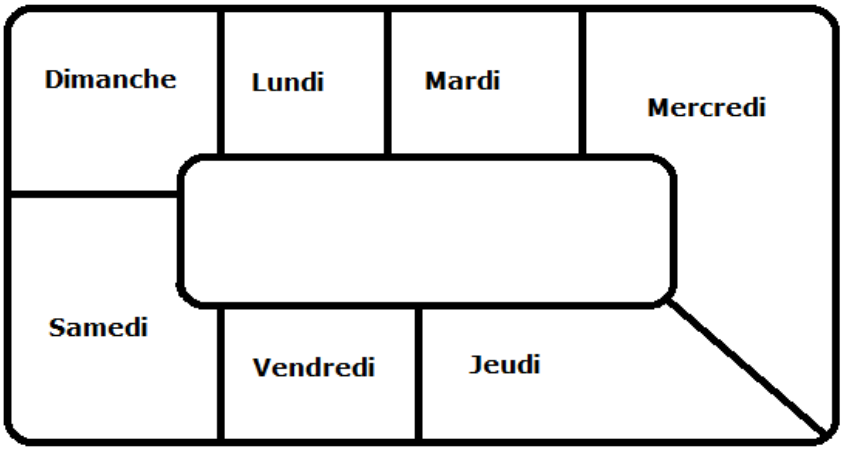


Figure 46. Représentation des jours de la semaine dans l'espace dessinée par un cousin de FC.

4. Conclusion sur l'Etude 6

Dans cette étude, nous avons décrit le cas de FC, une personne autiste savante possédant l'oreille absolue. Comme observé dans d'autres études de cas (Mottron et al., 1999, Heaton et al., 2008 ; Sloboda, 1985 ; Young & Nettlebeck, 1995), nous avons mis en évidence le cas d'une personne autiste savante possédant l'oreille absolue démontrant la capacité de reproduire des morceaux de musique entendus sans jamais avoir pris des cours de musique. Ces cas indiquent que l'oreille absolue émerge sans entrainement musical chez ces personnes ce qui n'est pas généralement observé dans la population typique où il existe une association forte entre l'apprentissage musical précoce et l'oreille absolue (Baharloo, et al., 1998 ; Chin, 2003 ; Gregersen, et al., 1999).

Nous avons aussi mis en évidence chez FC, une capacité supérieure à discriminer les sons, sur la dimension de la fréquence et de la durée, capacité qui n'est pas observée chez AP, une personne typique possédant l'oreille absolue. Cette capacité de discrimination supérieure contraste avec les capacités auditives décrite chez les personnes typiques possédant l'oreille absolue. En effet, plusieurs études ont montré que les musiciens avec et sans oreille absolue possèdent des capacités auditives équivalentes (Fujisaki & Kashino, 2002 ; Vangenot, 2000). En conclusion, les résultats observés dans notre étude de cas semblent indiquer que les capacités auditives des personnes autistes avec oreille absolue sont supérieures à celles des personnes typiques avec l'oreille absolue

Comme souligné au Chapitre 2, il existe un débat autour de l'acquisition de l'oreille absolue et de l'oreille relative chez l'enfant dans la population typique. En effet, Saffran et collègues (2003 ; 2001) postulent que les enfants traiteraient de façon plus absolue les notes et qu'ils développeraient un traitement plus relatif lors de l'acquisition du langage. Ceci pourrait suggérer que le délai d'acquisition du langage chez les personnes autistes ait un impact sur le traitement auditif et le développement de spécialisations neuronales pour les sons non verbaux, voire sur le développement de l'oreille absolue. C'est ce que semble suggérer l'étude de cas d'AC (Heaton, Davis, et al., 2008). La description de cette personne indique qu'il a prononcé sa première phrase vers 6 ans. Cependant, l'oreille absolue semble être apparue chez cette personne plus tôt comme reflété par une sensibilité et une mémoire accrue pour la musique et les sons en général. Dans notre étude, nous avons aussi observé que FC présente un retard de langage puisqu'il a prononcé ces premiers mots vers 5 ans et semble présenter une sensibilité auditive dès son plus jeune âge (hyperacousie). Comme suggéré par le bilan neuropsychologique, il semble aussi posséder de bonnes capacités mnésiques générales. L'oreille absolue dans l'autisme semble donc émerger à un âge où la production langagière de ces personnes est considérablement sous développée par rapport à celles d'enfants typiques au même âge. Heaton et al. (2008) font l'hypothèse que la capacité remarquable d'AC à nommer les notes doit être liée à sa "négligence" du langage dans son jeune âge ainsi qu'à une exposition, via les interactions avec ses parents

musiciens, aux notes et à leur label associées. Cependant, AC a rapidement associé le nom des notes aux notes correspondantes lorsqu'il a appris leurs noms, suggérant ainsi qu'il possédait déjà la capacité à mémoriser les notes. Cette association entre le retard de développement du langage et l'oreille absolue dans l'autisme est consistante avec les observations réalisées chez les personnes Asperger. En effet, les personnes Asperger qui se caractérisent au niveau clinique par une absence du retard dans le développement du langage, ne présentent pas de capacité supérieure à discriminer les sons purs en hauteur par rapport à des personnes autistes (Bonnel et al., 2010).

Nous avons aussi mis en évidence le mécanisme de cartographie véridique dans l'acquisition et le développement des capacités savantes de FC. En effet, pour associer les notes en mémoire à long terme, FC a associé au niveau perceptif deux éléments partageant une structure commune. Ainsi, il a associé les sept jours de la semaine avec les sept notes de la gamme. Il a donc mis en correspondance la structure des jours de la semaine avec la structure d'une gamme musicale. Ce qui est assez surprenant c'est que cette association repose sur une base perceptive. En effet, il a associé les 7 notes blanches d'une gamme au piano avec les 7 jours de la semaine. Il est cependant aussi capable de changer de système de référence pour associer les 12 demi-tons constituant une gamme (note blanches et notes noires) au 12 mois de l'année, association ayant aussi une base perceptive. De plus, lorsqu'il doit effectuer une addition ou une multiplication, il compte en base 60, ayant associé la division du temps en 60 minutes ou 60 secondes au système métrique. Ces performances à la tâche de ségrégation reflètent également ce mécanisme de cartographie véridique. En effet, lorsque la mélodie est transposée et qu'il ne peut donc pas s'aider de la valeur absolue des notes pour extraire la mélodie cible de la mixture auditive, ces performances sont supérieures à celle du groupe contrôle, ce qui n'est pas observé chez la personne typique possédant l'oreille absolue. Ce résultat indique bien une capacité supérieure chez FC à extraire et à manipuler un pattern.

Nous avons également mis en évidence qu'une large partie de la famille de FC possède des synesthésies. Plus surprenant encore, la principale forme de

synesthésie observée est une synesthésie de type visuo-spatial (Jarick, Dixon, Maxwell, Nicholls, & Smilek, 2009 ; Smilek, Callejas, Dixon, & Merikle, 2007). Récemment, une étude a mis en évidence que les synesthètes visuo-spatial présentent des capacités de mémorisation (souvenirs d'événement publics ou autobiographiques) et visuo-spatiales supérieures à celles de personnes contrôles (Simner, Mayo, & Spiller, 2009). Ces auteurs concluent que cette forme de synesthésie pourrait être liée à une certaine forme de savantisme : l'hypermnésie. L'observation d'un nombre important de synesthètes dans la famille de FC soulève de nombreuses questions, notamment la question d'un lien génétique. La prochaine étape de cette étude sera donc d'étudier cette dimension génétique.

Lors du développement du modèle de cartographie véridique dans l'autisme (Mottron et al., soumis), nous avons aussi proposé un support neuronal commun à ces trois types de manifestations (oreille absolue, syndrome savant et synesthésie) : un phénomène d'hyper-connectivité locale. Dans l'autisme, un phénomène d'hyperconnectivité locale a été observé (Belmonte, et al., 2004 ; Rippon, et al., 2007 ; Wass, 2011). Celui-ci serait sous-tendu par une densité neuronale plus importante au niveau de la matière blanche, et plus spécifiquement dans les connections de courtes distances (Herbert et al., 2004 ; Shih et al., 2011). Une surabondance de mini-colonnes corticales (unités d'organisation des neurones) a aussi été observée (Casanova & Trippe, 2009), ainsi qu'une plus grande diffusion neuronale pour les connexions de petites distances notamment au niveau des lobes temporaux et pariétaux (Shukla, et al., 2011). Un phénomène d'hyper-connectivité a été observé dans les régions temporales chez les personnes typiques avec l'oreille absolue (Loui, et al., 2010) ainsi que chez les synesthètes (Hänggi, et al., 2008 ; Hubbard & Ramachandran, 2005 ; Rouw & Scholte, 2007). Ainsi, il serait possible d'avancer qu'un phénomène d'hyperconnectivité locale dans et entre les aires perceptives, favorisant le développement du mécanisme de cartographie véridique, pourrait expliquer la co-occurrence de ces phénomènes dans l'autisme (le syndrome savant, l'oreille absolue et la synesthésie).

Pour conclure, nous avons présenté le cas de FC, personne savante autiste possédant l'oreille absolue. Nous avons mis en évidence chez cette personne des capacités de discrimination auditives supérieures. Nous avons également observé que l'acquisition et le développement de ces capacités savantes reposent sur le mécanisme de cartographie véridique. Par ailleurs, un large nombre des membres de sa famille possèdent des synesthésies visuo-spatiales suggérant l'implication d'un facteur génétique dans ce phénomène. Pour expliquer la co-occurrence de ces phénomènes (syndrome savant, oreille absolue et synesthésie) dans l'autisme, nous avons aussi émis l'hypothèse d'une hyperconnectivité locale au niveau neuronal. Ainsi, cette étude, de même que les futures études menées sur FC et sa famille, ont une importance primordiale pour la mise en évidence d'un mécanisme cognitif, basé sur la perception, ainsi que les structures neuronales impliquées dans l'autisme.

Conclusion et discussion

Chapitre 11. Discussion générale, perspectives et conclusion

L'objectif principal de ce travail doctoral a été de questionner le traitement musical dans l'autisme. Pour cela, nous avons inscrit cette question dans le cadre des deux principaux modèles développés pour rendre compte du fonctionnement cognitif des personnes autistes : la théorie de la faiblesse de cohérence centrale (WCC, Frith, 1989 ; Happé, 1999 ; Happé & Booth, 2008 ; Happé & Frith, 2006) et la théorie du surfonctionnement perceptif (EPF, Mottron & Burack, 2001 ; Mottron, et al., 2009 ; Mottron, et al., 2006). Ces deux théories postulent un traitement supérieur des éléments locaux dans l'autisme, ayant pour origine soit un déficit du traitement global (WCC) soit un surfonctionnement des traitements perceptifs (EPF). Nous avons voulu tout d'abord confronter ces deux théories dans le cadre du traitement global et local musical. Nous avons questionné la présence d'un biais local dans le traitement musical chez les personnes TSA, accompagné ou non d'un déficit global dans l'Etude 1, à travers des tâches de discrimination mélodique (Etude 1a et 1b) et une tâche de discrimination d'accords (1c). Ensuite, nous avons exploré la question d'un traitement auditif supérieur dans l'autisme, ainsi que son impact sur des traitements musicaux de plus haut niveau, comme le suppose la théorie EPF, avec une tâche de discrimination fréquentielle (Etude 2a), de durée (Etude 2b) et d'intensité (Etude 2c). Puisque ce biais envers le traitement local est supposé amodal, nous avons soulevé cette question dans l'Etude 3, avec une tâche de discrimination de formes visuelles impliquant des traitements global et local. Nous avons ensuite évalué si les mêmes processus étaient impliqués dans cette tâche et dans la tâche de discrimination mélodique. Dans l'Etude 4, nous avons développé une tâche auditive dont les processus sous-jacents au traitement global et local sont équivalents à ceux impliqués en vision. Par ailleurs, une plus grande implication des processus ascendants dans la cognition autistique est postulée par la théorie EPF alors qu'une défection des processus descendants est supposée par la théorie

WCC. Nous avons abordé cette question en audition dans l'Etude 5 avec une tâche de reconnaissance de mélodies entremêlées impliquant ces processus. Enfin, nous avons présenté le cas d'une personne autiste savante possédant l'oreille absolue dans l'Etude 6, en soulevant la question de ses capacités auditives et de l'acquisition de ses capacités savantes. Nous allons maintenant présenter un résumé des différents résultats issus de ces études.

1. Résumé des résultats des différentes études

Dans l'Etude 1, nous avons étudié le traitement musical global et local chez les personnes TSA dans le cadre des théories WCC et EPF. Selon les hypothèses classiques, nous nous attendions à observer un biais envers le traitement local dans le groupe TSA par rapport au groupe contrôle, éventuellement associé selon la théorie WCC à un déficit global dans le groupe TSA.

Dans l'Etude 1a, nous avons proposé une tâche de discrimination mélodique, qui nous permettait de manipuler le traitement global (le contour mélodique) et le traitement local (les intervalles entre les notes). Nous avons montré que le groupe TSA obtient, comme le groupe contrôle, des performances supérieures lorsque la mélodie est modifiée au niveau du contour (traitement global). Nous n'avons pas observé de capacités supérieures du groupe TSA pour la discrimination des mélodies modifiées au niveau des intervalles (traitement local) par rapport au groupe contrôle. Nous n'avons donc pas mis en évidence de traitement supérieur des éléments musicaux locaux. Les analyses développementales nous ont cependant permis de montrer un développement atypique du traitement global dans le groupe TSA. En effet, alors que pour les enfants contrôles le traitement global semble déjà acquis à l'âge de 7 ans, cela n'est pas le cas du groupe TSA. Il semble donc que les enfants TSA aient un traitement plus local que global de la mélodie que les enfants contrôles.

Dans l'Etude 1b, en évaluant la capacité à discriminer des mélodies transposées comme identiques (traitement global), nous avons observé une difficulté du groupe TSA, par rapport au groupe contrôle, à réaliser la tâche. De

plus, le groupe TSA montre un biais envers les réponses différentes indiquant. Ce biais suggère que les personnes TSA traitent de façon plus absolue la hauteur des notes que les personnes contrôles.

Dans l'Etude 1c, nous avons évalué la capacité à discriminer des accords dont il manque soit la tierce soit la quinte (traitement local). La quinte étant une redondance au niveau harmonique de la fondamentale, son absence devrait être moins facilement perceptible. Nous avons montré une différence de performances selon les groupes d'enfants. En effet, le groupe d'enfants contrôles présente une plus grande difficulté à identifier la quinte manquante d'un accord, par rapport au groupe d'enfants TSA.

Dans l'Etude 2, nous avons évalué si notre groupe TSA présentait une hypersensibilité auditive sur différentes caractéristiques acoustiques. Nous nous attendions à ce que le groupe TSA présente une capacité de discrimination auditive supérieure à celle du groupe contrôle. Dans les trois tâches de discrimination de fréquences (étude 2a), d'intensité (étude 2b) et de durée (étude 2c), nous n'avons pas montré de capacités de discrimination supérieures du groupe TSA par rapport au groupe contrôle. Cependant dans la tâche de discrimination d'intensité (étude 2b), le groupe TSA présentait une capacité supérieure à discriminer des sons à 2dB par rapport au groupe contrôle. Nous avons aussi réalisé des corrélations entre les performances moyennes à ces trois tâches de discrimination dans chaque groupe. Pour le groupe TSA, les performances à toutes les tâches auditives corrèlent entre elles. Pour le groupe contrôle, seules les tâches de discrimination de fréquences et d'intensité corrèlent entre elles. Ces résultats semblent indiquer que les différentes performances aux trois tâches de discrimination auditive sont liées entre elles dans le groupe TSA alors qu'elles ne le sont pas dans le groupe contrôle. De plus, comme le suppose la théorie EPF (Mottron et al., 2006), nous avons cherché à évaluer l'impact de ces traitements perceptifs de bas-niveau dans les tâches musicales. Les performances du groupe TSA à la tâche de discrimination de fréquences (Etude 2a) prédisent les performances en discrimination mélodique (Etude 2a) et d'accords (Etude 2c) mais pas en discrimination de mélodies transposées (Etude 2b). Pour ce qui

concerne le groupe contrôle, les performances à la tâche de discrimination de fréquences prédisent uniquement les performances à la tâche de discrimination d'accords. Par conséquent, il semble que pour le groupe TSA, les capacités perceptives de bas-niveau ont un impact plus important sur les traitements de plus haut niveau contrairement au groupe contrôle.

Les théories WCC et EPF postulent toutes deux que le biais local est amodal dans l'autisme. Nous avons donc voulu savoir, dans l'Etude 3, si les personnes TSA présentaient le même pattern de résultat en vision qu'en audition. Pour cela une tâche de discrimination de formes hiérarchiques a été utilisée dont les formes étaient modifiées soit au niveau global, soit au niveau local, soit aux niveaux global et local. Nous avons montré que le groupe TSA est plus rapide pour discriminer les formes lorsqu'elles sont modifiées au niveau des éléments locaux par rapport au groupe contrôle. Ce résultat confirme un mode de perception « par défaut » basé sur les éléments locaux dans l'autisme. De plus, nous n'avons pas observé de différences entre les deux groupes pour discriminer des formes modifiées au niveau global. Ces résultats suggèrent donc un traitement global visuel intact dans l'autisme. Pour évaluer si les mêmes processus sous-tendent cette tâche de discrimination visuelle et la tâche de discrimination mélodique (Etude 1a), nous avons mené des corrélations entre les conditions impliquant les mêmes traitements. Nous n'avons obtenu aucune corrélation significative ni pour le groupe contrôle ni pour le groupe TSA. Cette absence de corrélation semble indiquer que la tâche de discrimination mélodique implique des processus différents de ceux impliqués dans la tâche de discrimination visuelle, ce qui pourrait expliquer les différents profils de résultats observés dans ces deux tâches dans le cadre de nos travaux.

Dans l'Etude 4, nous avons donc développé une nouvelle tâche auditive, permettant d'imiter le paradigme développé par Navon (1977). Cette tâche auditive permet de manipuler le niveau global (la mélodie) et local (des groupes de trois notes) de façon indépendante. Nous avons mis en évidence un effet de précédence globale similaire à celui obtenu en vision : la forme globale auditive est mieux identifiée que les éléments locaux et la forme globale gêne

l'identification des éléments locaux lorsque celle-ci est non congruente. De plus, les corrélations réalisées mettent en évidence que les mêmes participants sont sensibles soit à la forme globale soit à la forme locale dans les deux modalités. Cette tâche auditive nous semble par conséquent plus appropriée qu'une tâche discrimination contour-intervalle, pour étudier la question d'un biais local dans l'autisme associé ou non à un déficit global.

Dans l'Etude 5, nous avons questionné l'implication des processus ascendants et descendants dans l'organisation auditive chez les personnes autistes. En effet, Bregman (1990) propose que la formation d'une scène auditive implique des processus ascendants basés sur la perception et des processus descendants basés sur les connaissances antérieures. Pour cela, nous avons utilisé une tâche de reconnaissance de mélodies entremêlées développée par Bey & McAdams (2002). Dans cette tâche, la mélodie à retrouver pouvait être complétement mélangée à une autre (les processus descendants ne peuvent pas être utilisés pour réaliser cette tâche) ou bien séparée par différents degrés fréquentiels (dans ce cas, les processus ascendants et descendants sont tous deux impliqués). Nos résultats montrent que le groupe TSA obtient de meilleures performances pour extraire la mélodie simple du mélange auditif lorsque la mélodie cible est complétement mélangée avec une autre (condition la plus difficile) que le groupe contrôle, par rapport aux autres conditions. Ce résultat indique une plus grande implication des processus ascendants dans la cognition autistique. Nous avons aussi observé que le groupe TSA ne présentait pas le même avantage que le groupe contrôle à utiliser l'indice fréquentiel pour ségréger les deux mélodies. En effet, lorsque la mélodie cible et la mélodie distractrice sont séparées par une certaine distance fréquentielle, le groupe TSA présente une difficulté à ségréger les deux mélodies. Cette capacité supérieure à extraire une mélodie cible dans un ensemble plus complexe ainsi que cette difficulté à ségréger les mélodies lorsqu'elles sont séparées par une certaine distance fréquentielle, ont été interprétés comme ayant une même origine : une capacité perceptive supérieure.

Enfin dans l'Etude 6, nous avons présenté le cas d'une personne autiste savante, FC, qui possède l'oreille absolue et calcule les calendriers. Nous avons

comparé ses performances à celle d'une personne contrôle possédant l'oreille absolue (AP) et à celles de groupes adulte contrôle et TSA, sur différentes tâches auditives et musicales. Nous avons pu montrer que FC possède des capacités supérieures pour discriminer des sons purs sur la dimension de la fréquence et de la durée par rapport au groupe contrôle, capacités que nous n'avons pas observées chez la personne contrôle AP. Ces résultats semblent indiquer que les capacités auditives supérieures de FC dépassent sa capacité à posséder l'oreille absolue. De plus, il semble que pour étayer ses capacités savantes comme l'oreille absolue ou bien le calcul mental, FC a utilisé un autre matériel partageant la même structure perceptive comme les jours de la semaine ou bien les heures et les minutes. Cette observation semble illustrer le mécanisme de cartographie véridique (Mottron et al., 2009), mécanisme permettant aux personnes autistes d'associer des structures partageant des similarités perceptives. Par ailleurs, nous avons relevé de nombreux cas de synesthésies visuo-spatiales dans sa famille. Ce cas illustre le modèle récemment développé, lequel postule que le mécanisme de cartographie véridique, pourrait expliquer la plus grande occurrence des trois phénomènes (oreille absolue, synesthésie et syndrome savant) dans l'autisme (Mottron, et al., soumis).

2. Conclusion sur les modèles WCC et EPF

2.1. Biais local et déficit global

Le point de départ de ce travail doctoral a été de questionner les traitements musical dans l'autisme, dans le cadre des théories EPF et WCC. Les résultats que nous avons observés dans les Etudes 1 et 2 ne nous permettent pas clairement de conclure en faveur d'une de ces deux théories. En effet, nous n'avons pas observé de biais local c'est-à-dire de performance supérieure dans les conditions susceptibles d'impliquer un traitement local dans l'Etude 1a. Par ailleurs, nous avons mis en évidence une difficulté à identifier comme identiques des mélodies transposées (Etude 1c). Ce résultat semble indiquer une difficulté à traiter au niveau global les mélodies, ce qui pourrait être induit par un

traitement plus absolu de la hauteur des notes. Pris ensemble, ces résultats en modalité auditive contrastent avec ce qui est observé dans la tâche de discrimination visuelle (Etude 3). En effet, dans cette tâche, le groupe TSA présente un traitement plus rapide des éléments locaux, par rapport au groupe contrôle, sans présenter de difficulté de traitement global. L'absence de corrélation observée entre ces deux tâches suggère en outre que des processus différents sont impliqués dans ces tâches en modalité visuelle et auditive. La tâche auditive que nous avons développée (Etude 4) par référence à la tâche de Navon (1977) et dont nous avons validé les processus impliqués (Bouvet, Rousset, Valdois, & Donnadieu, 2011) semble donc plus appropriée pour étudier la question du traitement global et local musical dans l'autisme. Une étude est en cours auprès d'une population autiste.

2.2. Les capacités perceptives des personnes autistes

Selon la théorie EPF (Mottron et al., 2006), les personnes autistes auraient des capacités perceptives supérieures à celles de personnes typiques. De plus, ces capacités auraient un plus grand rôle dans leur cognition. Dans l'Etude 2, qui visait à explorer les capacités auditives des personnes autistes, nous n'avons pas montré de performances supérieures des personnes autistes à discriminer différentes caractéristiques acoustiques. Cette absence de supériorité de discrimination auditive pourrait s'expliquer par l'hétérogénéité de notre groupe TSA comprenant des personnes autistes, Asperger et TED-NoS. En effet, une capacité auditive supérieure serait spécifique aux personnes autistes (Bonnel et al., 2010, Jones et al., 2009). Pourtant dans ce travail, un certain nombre de résultats semblent soutenir des capacités perceptives supérieures dans notre groupe TSA.

En menant des régressions entre les performances aux tâches de discrimination musicale (Etude 1) et aux tâches de discrimination fréquentielle (Etude 2b), il est apparu que les performances sur la tâche de discrimination fréquentielle prédisaient les performances sur la tâche de discrimination

mélodique dans le groupe TSA mais pas dans le groupe contrôle. Ces résultats, toutefois à confirmer auprès d'un échantillon plus conséquent, soulignent le rôle plus important de la perception dans le traitement musical dans l'autisme.

Par ailleurs, dans l'Etude 5 (tâche de reconnaissance de mélodies entremêlées), nous avons mis en évidence un profil atypique de résultats du groupe TSA, que nous avons interprété comme la preuve d'un rôle plus important de la perception dans l'autisme. En effet, le groupe TSA avait de meilleures performances pour réaliser la tâche lorsque les mélodies étaient complétement entremêlées plutôt que séparées par un certain degré de distance fréquentielle, par rapport au groupe contrôle. Nous avons interprété ces résultats comme reflétant une capacité supérieure à extraire les patterns dans un mélange auditif, capacité basée sur des processus ascendants plus forts dans l'autisme. Cette capacité supérieure d'extraction de patterns auditifs traduirait un mécanisme de cartographie véridique dans l'autisme, qui permet d'associer des structures partageant une même base perceptive. Par ailleurs, nous avons également proposé que la difficulté à ségréger deux mélodies sur la base d'indices fréquentiels chez les participants TSA, serait le reflet d'une capacité de chargement perceptif supérieure (Remington, et al., 2009). En effet, les personnes TSA n'arriveraient pas à inhiber les distracteurs puisqu'elles auraient une capacité à traiter un nombre plus important de stimuli que les personnes contrôles.

En conclusion les résultats rapportés dans ce travail doctoral indiquent la présence de capacités perceptives plus importantes dans l'autisme que dans la population typique. En effet, nous avons observé une plus grande implication des traitements perceptifs dans le traitement musical. Nous avons également montré une plus grande capacité à détecter un pattern auditif via des processus ascendants. Par conséquent, ces résultats vont dans le sens de la théorie EPF (Mottron & Burack, 2001 ; Mottron, et al., 2009 ; Mottron, et al., 2006).

3. L'étude de l'autisme dans une perspective développementale

Dans l'Etude 1, nous avons questionné le développement des traitements global et local chez les enfants TSA et contrôles. Nous avons tout d'abord montré, chez les enfants typiques, que le traitement global (i.e., traitement du contour mélodique) est déjà acquis à 7 ans mais que le traitement local (i.e., traitement des intervalles) se développe jusqu'à l'âge de 12 ans. Ces résultats confirment ce qui a déjà été décrit dans la littérature dans la population typique (Trehub, 2001 ; Trehub, et al., 1984). Dans le groupe TSA, nos résultats suggèrent que ces deux processus sont en cours d'acquisition entre 7 et 12 ans. Par conséquent, il existerait une différence dans l'acquisition du traitement global entre ces deux groupes. Ce résultat suggère un développement plus tardif du traitement global dans l'autisme.

Dans la tâche de discrimination visuelle, nous n'avons pas montré de différence entre les deux groupes dans le développement de ces capacités. De plus, nous n'avons pas observé de développement en fonction de l'âge des performances pour le traitement global chez les enfants contrôles contrairement à certaines études (Dukette & Stiles, 2001 ; Poirel, Mellet, et al., 2008). Le fait d'obtenir des résultats différents selon les études pourrait être expliqué par la densité élevée des éléments locaux dans la forme globale que nous avons utilisée (Kimchi, et al., 2005). Dans les différentes tâches de discrimination auditive, nous n'avons pas non plus mis en évidence de différence de développement entre les différents groupes, ni d'augmentation des performances en fonction de l'âge dans aucun des groupes. Pourtant, le traitement auditif (traitement des caractéristiques psychoacoustiques spectrales et temporelles) semble se développer avec l'âge dans la population typique (Moore, Cowan, Riley, Edmondson-Jones, & Ferguson, 2011). Il est donc possible que nos tâches auditives ne soient pas assez sensibles pour observer une différence entre les deux groupes. Il pourrait être intéressant d'étudier spécifiquement cette question du développement des capacités auditives dans l'autisme, plus particulièrement au vu des résultats de la littérature sur ces capacités (Bonnel, et al., 2010 ;

Bonnel, et al., 2003 ; Gomot, et al., 2008 ; Jones, et al., 2009 ; Khalfa, et al., 2004).

Ces résultats développementaux soulignent la nécessité d'étudier le développement des processus et des capacités cognitives dans l'autisme. Dans ses travaux, Annette Karmiloff-Smith insiste sur l'intérêt d'une approche neuro-constructiviste des syndromes développementaux :

« For many decades, the notion of plasticity tended to be reserved for the human system's response to damage. By contrast, it has become abundantly clear that development—whether typical or atypical, whether human or non human—is fundamentally characterized by plasticity for learning, with the infant brain dynamically structuring itself over the course of ontogeny. […]. Human intelligence is not a state (i.e., not a collection of static, built-in modules handed down by evolution and that can be intact or impaired). Rather, human intelligence is a process, i.e. the emergent property of dynamic multidirectional interactions between genes, brain, cognition, behavior, and environment." (Karmiloff-Smith, 2009, p.61).

La solution la plus adaptée pour répondre à cette question serait la mise en place d'études longitudinales malgré leur coût important. Les analyses que nous avons présentées dans ce document offre toutefois un premier éclairage sur le développement de ces capacités.

4. La détection de patterns auditifs

La tâche de reconnaissance de mélodies entremêlées (Etude 5) nous a permis de mettre en évidence un plus grand impact des processus ascendants dans l'organisation auditive des personnes TSA. Les résultats nous ont permis de conclure que les personnes autistes présentaient une capacité supérieure à extraire un pattern auditif d'un ensemble plus complexe. De futures études pourraient permettre de mieux comprendre cette capacité d'extraction de patterns auditifs ainsi que l'implication des processus ascendants et descendants

dans cette capacité. Par exemple, il pourrait être intéressant d'utiliser la tâche développée par Devergie et al. (2010) pour approfondir cette question dans l'autisme. En effet, dans cette étude les auteurs ont voulu tester l'effet de l'attention (i.e., processus descendants) dans l'extraction d'une mélodie familière d'un mélange auditif. Dans cette tâche, le seul indice pouvant être utilisé pour extraire la mélodie du mélange est la rythmicité des sons. Soit les rythmes de la mélodie familière et des sons distracteurs sont irréguliers (Expérience 1), soit le rythme de la mélodie familière seulement est irrégulier (Expérience 2). Dans l'Expérience 1, seule la connaissance antérieure de la mélodie peut permettre son extraction du mélange auditif. Si les performances sont meilleures dans l'Expérience 2 par rapport à l'Expérience 1, alors cela indique qu'un mécanisme de suppression, atténuant le traitement des stimuli non pertinents pour la tâche (guidé par l'attention), a permis de rendre la mélodie plus saillante et donc plus facilement reconnaissable. Les auteurs observent que les participants sont capables de ségréger des mélodies uniquement sur la base de la connaissance antérieure de la mélodie familière et que, lorsque seul le rythme de la mélodie est irrégulier, les performances augmentent. Dans le cadre de l'autisme, nous pouvons faire plusieurs hypothèses quant aux performances de ces personnes à cette tâche. Tout d'abord, si les personnes autistes présentent une supériorité de détection de patterns, elles devraient obtenir des performances supérieures à celle du groupe contrôle dans l'Expérience 1. Si les personnes autistes ont des processus descendants défaillants, comme le suppose la théorie WCC (Frith, 1989), elles devraient moins bien réussir l'Expérience 2 que le groupe contrôle. Si leurs processus descendants sont intacts, comme le suppose la théorie EPF (Mottron et al., 2006) elles devraient alors obtenir des résultats identiques, à ceux du groupe contrôle dans l'Expérience 2. Ainsi, cette tâche permettrait d'explorer un peu plus les capacités de détection de patterns auditifs dans l'autisme.

Par ailleurs, lors de la réalisation de tâches visuelles impliquant la détection de patterns, comme une tâche de rotation mentale, une plus grande activation des aires visuelles a été montrée dans l'autisme (Soulières, et al., 2009). Il pourrait donc être intéressant d'étudier si une activation plus forte des aires

auditives est observée dans l'autisme lors d'une tâche auditive nécessitant une détection de patterns. Une tâche de renversement mental de mélodies (Zatorre, Halpern, & Bouffard, 2009) pourrait être intéressante à utiliser dans ce sens. En effet, dans ce type de tâche, il est demandé aux participants s'ils reconnaissent une mélodie présentée à l'envers comme étant une mélodie familière. Cette tâche nécessite donc la manipulation mentale d'un pattern auditif.

En outre, nous avons proposé que la difficulté des participants TSA à ségréger deux mélodies sur la base d'indices fréquentiels, pourrait aussi refléter une capacité de chargement perceptif supérieure (Remington, et al., 2009). En effet, les personnes TSA ayant une capacité perceptive supérieure, n'arriveraient pas à inhiber les distracteurs. Elles ont besoin de plus d'éléments à traiter pour pouvoir inhiber les informations non pertinentes pour la réalisation d'une tâche. Cependant cette hypothèse doit être testée *a priori*. Une tâche auditive, imitant la tâche de recherche visuelle de Remington et al. (2009) pourrait être intéressante à cet égard. On pourrait imaginer une tâche de recherche de cible auditive parmi des distracteurs dont le nombre varie. Si les personnes autistes possèdent une capacité de charge perceptive supérieure en audition, ces personnes auraient besoin d'un nombre plus élevé de distracteurs que les contrôles, pour pouvoir inhiber le traitement des distracteurs et ainsi détecter la cible à un niveau de performance équivalent.

5. Importance de l'étude des capacités musicales dans l'autisme

Comme nous l'avons souligné dans l'introduction, les personnes autistes montrent dans certains cas des capacités musicales exceptionnelles (Miller, 1989 ; Sloboda, et al., 1985 ; Young & Nettelbeck, 1995). Elles présentent aussi un intérêt particulier pour la musique (Heaton, 2009). Ces capacités musicales contrastent fortement avec le faible intérêt envers le langage que montrent les personnes autistes. Au niveau clinique, l'autisme est caractérisé par un retard dans l'acquisition du langage (APA, 1994). De plus, plusieurs études ont mis en avant un traitement atypique du langage chez les personnes autistes, que ce soit

au niveau de la prosodie (Kujala, Lepistö, Nieminen-von Wendt, Näätänen, & Näätänen, 2005 ; McCann & Peppe, 2003) ou bien au niveau sémantique (Rapin & Dunn, 2003). Une activation neuronale atypique lors de l'écoute de sons langagiers est décrite, alors que le traitement des sons auditifs non verbaux semble être préservé dans l'autisme (Ceponiene, et al., 2003 ; Gervais et al., 2004 ; Lepistö, et al., 2005). Les moins bonnes performances des enfants TSA à traiter l'information du contour dans la tâche de discrimination mélodique (Etude 1a) pourrait découler d'un traitement atypique du langage. En effet, le contour mélodique n'est pas seulement spécifique à la musique mais il est aussi crucial pour la perception de la prosodie (Patel, Peretz, Tramo, & Labreque, 1998). Il est alors possible que les enfants TSA, ayant une moins grande expertise dans le domaine langagier que les enfants contrôles, montrent une moins grande expertise pour traiter le contour mélodique.

Les travaux de Pamela Heaton ont mis en avant un traitement plus perceptif du langage dans l'autisme (Järvinen-Pasley & Heaton, 2007 ; Järvinen-Pasley, Wallace, Ramus, Happé, & Heaton, 2008). On peut alors se demander si un traitement plus perceptif du langage nuit au développement d'un traitement sémantique et syntaxique du langage. Les résultats de certaines études indiquent que la réponse n'est pas aussi évidente que cela. Avec un paradigme à choix ouverts, où les participants devaient apparier un mot avec un dessin ayant un lien sémantique (image correspondant au mot), ou bien avec un dessin ayant un lien perceptif (dessin représentant l'intonation du mot avec une courbe), il a été montré que les enfants autistes font un nombre de choix perceptifs plus important que des enfants contrôles (Järvinen-Pasley, Pasley, & Heaton, 2008). Cependant, les deux groupes font plus de choix sémantiques que perceptifs, indiquant que pour les enfants autistes le traitement perceptif ne prime pas obligatoirement sur le sémantique. Les résultats d'une autre étude indiquent que les enfants autistes âgés de 32 à 52 mois ont une préférence pour les stimuli non langagiers par rapport aux enfants contrôles. De plus, certains résultats suggèrent que les stimuli langagiers n'induisent pas d'élicitation de la Mismatch Negativity (MMN) chez les participants autistes (Kuhl, Coffey-Corina, Padden, & Dawson, 2005). Il est donc important de comprendre si ce manque d'intérêt pour

les stimuli langagiers découle ou donne suite à un traitement plus perceptif du langage.

Par ailleurs, l'investigation du traitement global et local en audition (Etude 1) a été réalisée sur la base du modèle de reconnaissance musicale (Peretz & Morais, 1993). Ce modèle suppose que le langage est un module indépendant de la musique. Cette conception d'une modularité du langage repose sur la double dissociation observée dans l'étude de patients cérébro-lésés ayant un traitement musical intact mais présentant un trouble langagier, et inversement (Ayotte, Peretz, & Hyde, 2002 ; Peretz & Hyde, 2003 ; Peretz & Zatorre, 2005). Certaines études soutiennent cette dichotomie puisqu'il semblerait que le langage et la musique reposeraient sur l'utilisation d'indices acoustiques distincts, ainsi que sur une spécialisation hémisphérique différente (Zatorre, Belin, & Penhune, 2002). Cependant les résultats de plusieurs études IRMf indiquent que le traitement musical implique des régions neuronales longtemps considérées spécifiques à la compréhension et la production du langage (Koelsch et al., 2002 ; Koelsch, Gunter, Wittfoth, & Sammler, 2005 ; Tillmann, Janata, & Bharucha, 2003). Ainsi, il semblerait que la perception du langage et de la musique implique des réseaux neuronaux similaires (Schön et al., 2010). Par ailleurs, des modèles neurocognitifs sur la perception musicale de plus en plus élaborés émergent (Koelsch, 2011). Par exemple le modèle de Koelsch (2011) présente l'intérêt de décrire des processus comme l'extraction de caractéristiques auditives, la formation d'une Gestalt auditive, l'analyse d'intervalles musicaux, ainsi que les structures neuronales sous-jacentes à ces processus, dont beaucoup sont aussi impliquées dans la perception du langage. L'étude de la perception musicale chez les personnes autistes présentant un profil de traitement du langage atypique, dans le cadre de ces modèles, pourrait donc permettre de mieux comprendre 1) l'interdépendance entre des systèmes langagier et musical, et 2) le développement de cette relation asymétrique entre la musique et le langage dans l'autisme.

En outre, puisque les systèmes langagiers et musicaux semblent être interdépendants, certains auteurs ont proposé une nouvelle thérapie passant par

la musique pour faciliter l'accès au langage des personnes autistes non verbales (Wan, Demaine, Zipse, Norton, & Schlaug, 2010 ; Wan & Schlaug, 2010). Ces auteurs proposent d'engager et de renforcer, via la musique, le système de neurones miroirs supposés défectueux dans l'autisme (Iacoboni & Dapretto, 2006) et pouvant être responsable du développement atypique du langage. Ces auteurs proposent une thérapie associant musique et motricité pour faciliter l'acquisition du langage (Wan et al., 2011). Les premiers résultats de ces études sont prometteurs et soulignent l'importance de l'étude de la perception musicale dans l'autisme ainsi que son impact tant au niveau des modèles cognitifs que des applications thérapeutiques.

6. Synesthésie et autisme

6.1. Oreille absolue, synesthésie et autisme

A travers l'étude de cas de FC, nous avons mis en évidence que les phénomènes de synesthésie et d'oreille absolue peuvent apparaitre chez une même personne autiste. Dans les études de groupes présentées dans ce travail, nous avons également fait plusieurs observations qui confirment l'idée d'une prévalence plus importante de ces phénomènes dans l'autisme. Tout d'abord, les moins bonnes performances du groupe TSA dans la tâche de discrimination de mélodies transposées serait le reflet d'une plus grande capacité à traiter les notes sur la base de leur hauteur absolue. En effet, les personnes possédant l'oreille absolue sont gênées par cette capacité de reconnaissance de mélodies transposées (Miyazaki, 2004b). De plus, certains de nos participants TSA nous ont rapporté posséder de bonnes capacités auditives laissant supposer que certains d'entre d'eux posséderaient l'oreille absolue sans toutefois que cela ait été formellement évalué. Par exemple, lors de la rencontre des participants, beaucoup de parents ont déclaré que leurs enfants possédaient une bonne oreille, que certains avaient été capables de chanter des chansons entendues à la radio avant de savoir parler. Certains participants ont également pris des cours de musique sans persévérer alors que leurs enseignants rapportaient qu'ils étaient « assez doués ». Enfin, un

de nos participants adulte autiste semble lui aussi posséder l'oreille absolue, puisque sa mère déclare : « Nous avions débuté la musique ensemble et il avait toujours toutes ses dictées musicales parfaites. Il a fait du piano pendant quatre ou cinq ans, avec une grande facilité, mais cette activité ne lui plaisait pas. Il trouvait qu'on le "forçait". Il a donc arrêté. ». Fait surprenant cette personne possède aussi des synesthésies, de type graphème-couleur, dont voici une description :

« Depuis petit, je perçois les chiffres, nombres, mots et lettres en couleurs. Cette particularité, qui m'affecte depuis ma naissance, me permet de différencier des symboles avec une meilleure efficacité que la normale. […]. Mes perceptions des chiffres sont bien plus nettes que les lettres car il y a beaucoup plus de caractères représentant les lettres (incluant minuscules et majuscules), et pour la plupart je n'y ai jamais porté une grande attention […]. Si on s'intéresse au rapport qu'il y a entre la couleur et les chiffres, il est notable que les chiffres qui se ressemblent ont des couleurs proches. Le 2 est l'inverse du 5. Ils sont tous les deux verts. Le 6 et le 9 sont rouges. Ils ne sont pas parfaitement identiques, ceci peut expliquer la différente nuance des couleurs. Je remarque le même phénomène avec les lettres ; le B m'apparaît en violet et le 8 en bleu. Le A m'apparaît en pourpre, en comparaison avec le 4 et le B. Le I m'apparaît en jaune clair, comparable au 1 et au 7. »

Ces observations laissent supposer que la synesthésie et l'oreille absolue apparaissent plus fréquemment dans l'autisme. L'oreille absolue et la synesthésie reposant sur l'association de deux perceptions de modalités différentes, cette co-occurrence dans l'autisme pourrait être expliquée par le mécanisme de cartographie véridique, mécanisme permettant l'association de structures partageant un haut degré de similarité perceptive. On peut cependant remarquer que les sensations synesthésiques semblent reposer sur une base perceptive ce qui n'est pas le cas de l'oreille absolue. En effet, les personnes synesthètes ont généralement une perception supérieure dans la modalité induisant une sensation synesthésique (Banissy, et al., 2009 ; Barnett, Foxe, et al., 2008). Les personnes possédant l'oreille absolue ne montrent généralement pas de capacités

auditives supérieures par rapport à des musiciens ne possédant pas l'oreille absolue (Fujisaki & Kashino, 2002 ; Vangenot, 2000). Pourtant dans notre étude de cas (Etude 6), nous avons observé que notre sujet autiste FC possédait des capacités auditives supérieures à celles de personnes contrôles, supériorité qui n'est pas observée chez un participant contrôle avec l'oreille absolue. Bien que ces résultats restent à confirmer auprès d'un plus large échantillon de personnes contrôles avec l'oreille absolue, on peut cependant se demander si les capacités perceptives supérieures observées dans l'autisme (Bertone, et al., 2005 ; Bonnel, et al., 2003 ; Plaisted, et al., 1998 ; Soulières, et al., 2009) ne favoriseraient pas la co-occurrence de ces deux phénomènes sur la base du mécanisme de cartographie véridique.

Par ailleurs, certains auteurs postulent que nous ferions tous des associations de type synesthésiques. Ainsi, il existerait une façon systématique dont les informations sensorielles sont transmises et « traduites » entre les modalités au cours du développement (Spector & Maurer, 2009). Par exemple, lorsque l'on demande à des adultes non synesthètes d'effectuer des correspondances entre plusieurs modalités, ils réalisent la même association entre les sons aigus et les couleurs claires, et les sons graves avec les couleurs sombres que les synesthètes (Ward, Huckstep, & Tsakanikos, 2006). De plus, lorsqu'il leur est demandé d'associer une couleur à une lettre, une certaine consistance émerge dans leurs choix, par exemple la lettre « a » est souvent retrouvée associée à du rouge (Simner, et al., 2005). Les synesthètes auraient donc un accès conscient à certains de ces phénomènes de « traduction » dont l'origine viendrait de l'organisation du système neuronal sensoriel.

L'observation plus fréquente de la synesthésie dans l'autisme, comme nous avons pu le remarquer chez certains de nos participants, ainsi que dans le cadre d'enquêtes préliminaires (Johnson, et al., 2011) soulève de nombreuses questions. La synesthésie et l'autisme semblent partager un certain nombre de caractéristiques communes, sur le plan perceptif et cognitif. Il serait donc intéressant de déterminer les similitudes et les différences entre les deux. On pourrait par exemple se demander si les personnes autistes et les personnes

synesthètes ont les mêmes capacités perceptives. On pourrait aussi se demander si les associations faites entre plusieurs modalités chez les personnes autistes et synesthètes sont réalisées sur les mêmes bases.

6.2. Hyperconnectivité neuronale

Un phénomène d'hyperconnectivité neuronale locale a été décrit tant dans l'autisme (Belmonte, et al., 2004 ; Casanova & Trippe, 2009 ; Minshew & Williams, 2007 ; Rippon, et al., 2007 ; Wass, 2011) que la synesthésie (Bargary & Mitchell, 2008 ; Rouw & Scholte, 2007 ; Weiss & Fink, 2009) et l'oreille absolue (Loui, et al., 2010). Ce phénomène d'hyperconnectivité dans l'autisme a été postulé comme étant le support neuronal du mécanisme de cartographie véridique (Mottron et al., soumis).

La question de l'hyperconnectivité a été particulièrement développée dans le domaine de la synesthésie. En effet, ce phénomène reposant sur l'association de deux sensations provenant de modalités différentes, une cause neuronale a été postulée depuis le début. Deux théories ont été développées pour comprendre comment se développe la synesthésie. La première théorie est celle de « l'activation croisée », qui postule que la synesthésie vient d'un défaut « d'élagage » des différentes connections qui survient pendant le développement (Ramachandran & Hubbard, 2001). La deuxième théorie, dite du feedback désinhibé, postule que la synesthésie viendrait d'un feedback défaillant entre aires corticales de plus haut niveau vers les aires sensorielles, feedback qui normalement inhibe les effets des connections entre les aires primaires sensorielles (Grossenbacher & Lovelace, 2001). Récemment, plusieurs études ont mis en évidence que le cerveau tout entier des personnes synesthètes serait « hyperconnecté » (Hänggi, Wotruba, & Jäncke, 2011 ; Hupé, Bordier, & Dojat, 2011). Cette hyperconnectivité ne serait pas spécifique à une région particulière (comme par exemple les régions de la couleur dans la synesthésie graphème-couleur) mais refléterait plutôt une architecture neuronale atypique.

Le phénomène d'hyperconnectivité locale est encore largement discuté dans l'autisme. Si l'existence d'un phénomène d'hypoconnectivité des connexions longues distances est généralement acquise dans l'autisme, le phénomène d'hyperconnectivité locale est plus difficilement mis en évidence (Vissers, Cohen, & Geurts, 2012) même si certaines études observent ce phénomène (Di Martino et al., 2011). Cependant, la question d'une connectivité atypique dans l'autisme semble être une piste intéressante pour mieux comprendre certaines capacités et comportements de ces personnes. Par exemple, Simmons et al. (2009) proposent qu'un phénomène de connectivité atypique dans l'autisme, pourrait provoquer un bruit neuronal et ainsi expliquer l'hétérogénéité des résultats observés dans le domaine visuel.

Le rapprochement de l'autisme et de la synesthésie, comme nous l'avons souligné dans la partie précédente soulève de nombreuses questions. Sur le plan neuronal, la question de l'hyperconnectivité neuronale dans l'autisme et la synesthésie reste encore à approfondir. Cependant, cette hypothèse pourrait permettre de mieux comprendre le fonctionnement cognitif des personnes autistes et d'offrir un éclairage sur les capacités préservées ainsi que sur leurs difficultés.

6.3. Génétique

Une origine génétique à la synesthésie a été démontrée (Asher, et al., 2009 ; Barnett, Finucane, et al., 2008 ; Rich, Bradshaw, & Mattingley, 2005). En effet, des manifestations synesthésiques sont souvent observées chez des parents de 1er degré (Barnett et al., 2008). Cependant, il apparait dans ces études, qu'il n'y a pas de tendance familiale vers une seule forme de synesthésie. Ceci conduit donc à penser qu'il existerait un phénotype de la synesthésie et que les associations synesthésiques se développeraient sur la base d'expériences personnelles (Barnett, Finucane, et al., 2008 ; Hubbard, Brang, & Ramachandran, 2011).

Dans l'étude de cas (Etude 6), nous avons observé qu'un certain type de synesthésie dominait dans la famille : la synesthésie visuo-spatiale. L'observation d'une forme familiale de synesthésie renforce donc l'idée d'une origine génétique de la synesthésie. Cependant, cette observation contraste avec l'idée qu'il n'existerait pas une forme dominante dans une famille (Barnett, Finucane, et al., 2008). De plus, ce type de synesthésie a récemment été associé avec une forme de savantisme : l'hypermnésie (Simner, et al., 2009). L'observation de cette synesthésie visuo-spatiale dans une famille comprenant une personne savante autiste soulève par conséquent de nombreuses questions. Les prochains objectifs, dans le cadre de cette étude de cas, seront d'étudier le lien au niveau génétique de ces synesthésies et du syndrome savant de FC.

7. Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons voulu explorer la perception musicale dans l'autisme à travers les théories EPF et WCC. Bien que nous n'ayons pas identifié un biais envers le traitement local chez les personnes TSA, nous avons observé, à travers plusieurs études, que la perception dans l'autisme joue un rôle plus important dans la cognition musicale. Ces résultats vont dans le sens de la théorie EPF. Au vu des limites méthodologiques des tâches auditives utilisées pour explorer la question du traitement global et local dans l'autisme, nous avons aussi développé en audition un nouveau paradigme dont les traitements sont analogues à ceux impliqués en vision. Nos travaux ont également permis de souligner l'importance des études développementales dans l'autisme afin de mieux comprendre le développement des traitements global et local. Par ailleurs, nous avons aussi mis en évidence en audition une capacité supérieure des personnes TSA à détecter des patterns. Ces résultats semblent représenter l'équivalent auditif des résultats observés dans le domaine visuel, avec par exemple la tâche de figures emboîtées. Ils suggèrent l'implication d'un mécanisme de cartographie véridique dans le domaine auditif. Nous avons également observé chez une même personne autiste, les phénomènes de synesthésie, d'oreille absolue et de syndrome savant, supportant ainsi la

proposition d'un mécanisme de cartographie véridique expliquant la plus grande occurrence de ces phénomènes dans l'autisme.

Ce travail a principalement porté sur l'étude de la cognition musicale dans l'autisme, domaine encore trop peu exploré à l'heure actuelle. L'étude du traitement musical chez les personnes autistes offre en effet un éclairage sur le fonctionnement cognitif général de ces personnes. Son étude représente donc un enjeu majeur et pourra permettre par exemple de mieux comprendre les difficultés de compréhension et de communication des personnes autistes.

Références

Abrahams, B. S., & Geschwind, D. H. (2008). Advances in autism genetics: on the threshold of a new neurobiology. *Nature reviews. Genetics, 9*(5), 341-355.

Adams, N. C., & Jarrold, C. (2011). Inhibition in Autism: Children with Autism have Difficulty Inhibiting Irrelevant Distractors but not Prepotent Responses. *Journal of autism and developmental disorders*, 1-12.

Alcántara, J. I., Weisblatt, E. J. L., Moore, B. C. J., & Bolton, P. F. (2004). Speech-in-noise perception in high-functioning individuals with autism or Asperger's syndrome. *Journal of child psychology and psychiatry, and allied disciplines, 45*(6), 1107-1114.

Allison, J., & Hayes, C. (1996). The Cognitive Style Index, a measure of intuition-analysis for organizational research. *Journal of management Studies, 33*, 119-135.

Annaz, D., Karmiloff-Smith, A., Johnson, M. H., & Thomas, M. S. C. (2009). A cross-syndrome study of the development of holistic face recognition in children with autism, Down syndrome, and Williams syndrome. *Journal of Experimental Child Psychology, 102*(4), 456-486.

APA. (1994). Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-IV. Washington, DC: American Psychiatric Association.

Applebaum, E., Egel, A. L., Koegel, R. L., & Imhoff, B. (1979). Measuring musical abilities of autistic children. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 9*(3), 279-285.

Asher, J. E., Lamb, J. A., Brocklebank, D., Cazier, J.-B., Maestrini, E., Addis, L., Sen, M., Baron-Cohen, S., & Monaco, A. P. (2009). A whole-genome scan and fine-mapping linkage study of auditory-visual synesthesia reveals evidence of linkage to chromosomes 2q24, 5q33, 6p12, and 12p12. *American journal of human genetics, 84*(2), 279-285.

Athos, E. A., Levinson, B., Kistler, A., Zemansky, J., Bostrom, A., Freimer, N., & Gitschier, J. (2007). Dichotomy and perceptual distortions in absolute pitch ability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 104*(37), 14795-14800.

Ayotte, J., Peretz, I., & Hyde, K. (2002). Congenital amusia: a group study of adults afflicted with a music-specific disorder. *Brain, 125*(2), 238-251.

Ayotte, J., Peretz, I., Rousseau, I., Bard, C., & Bojanowski, M. (2000). Patterns of music agnosia associated with middle cerebral artery infarcts. *Brain, 123*(9), 1926-1938.

Bachem, A. (1955). Absolute Pitch. *Journal of the Acoustical Society of America, 27*(6), 1180-1185.

Badcock, J. C., Whitworth, F. A., Badcock, D. R., & Lovegrove, W. J. (1990). Low-frequency filtering and the processing of local-global stimuli. *Perception, 19*(5), 617-629.

Baharloo, S., Johnston, P., Service, S., Gitschier, J., & Freimer, N. (1998). Absolute pitch: an approach for identification of genetic and nongenetic components. *American Journal of Human Genetics, 62*(2), 224-231.

Baharloo, S., Service, S., Risch, N., Gitschier, J., & Freimer, N. (2000). Familial Aggregation of Absolute Pitch. *The American Journal of Human Genetics, 67*(3), 755-758.

Bailey, A., Le Couteur, A., Gottesman, I., Bolton, P., Simonoff, E., Yuzda, E., & Rutter, M. (1995). Autism as a strongly genetic disorder: evidence from a British twin study. *Psychological Medicine, 25*(01), 63-77.

Baird, G., Charman, T., Baron-Cohen, S., Cox, A., Swettenham, J., Wheelwright, S., & Drew, A. (2000). A Screening Instrument for Autism at 18 Months of Age: A 6-Year Follow-up Study. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry, 39*(6), 694-702.

Banissy, M. J., Walsh, V., & Ward, J. (2009). Enhanced sensory perception in synaesthesia. *Experimental brain research, 196*(4), 565-571.

Bargary, G., & Mitchell, K. J. (2008). Synaesthesia and cortical connectivity. *Trends in neurosciences, 31*(7), 335-342.

Barnett, K. J., Finucane, C., Asher, J. E., Bargary, G., Corvin, A. P., Newell, F. N., & Mitchell, K. J. (2008). Familial patterns and the origins of individual differences in synaesthesia. *Cognition, 106*(2), 871-893.

Barnett, K. J., Foxe, J. J., Molholm, S., Kelly, S. P., Shalgi, S., Mitchell, K. J., & Newell, F. N. (2008). Differences in early sensory-perceptual processing in synesthesia: a visual evoked potential study. *NeuroImage, 43*(3), 605-613.

Baron-Cohen, S., Bor, D., Billington, J., Asher, J., Wheelwright, S., & Ashwin, C. (2007). Savant memory in a man with colour form-number synaesthesia and Asperger syndrome. *Journal of Consciousness Studies, 14*(9-10), 237-251.

Baron-Cohen, S., Leslie, A. M., & Frith, U. (1985). Does the autistic child have a "theory of mind"? *Cognition, 21*(3), 7-44.

Bartak, L., Rutter, M., & Cox, A. (1975). A comparative study of infantile autism and specific development receptive language disorder. I. The children. *The British journal of psychiatry : the journal of mental science, 126*, 127-145.

Beaucousin, V., Cassotti, M., Simon, G., Pineau, A., Kostova, M., Houdé, O., & Poirel, N. (2011). ERP evidence of a meaningfulness impact on visual global/local processing: when meaning captures attention. *Neuropsychologia, 49*(5), 1258-1266.

Behrmann, M., Avidan, G., Leonard, G. L., Kimchi, R., Luna, B., Humphreys, K., & Minshew, N. (2006). Configural processing in autism and its relationship to face processing. *Neuropsychologia, 44*(1), 110-129.

Belin, P., Fecteau, S., & Bédard, C. (2004). Thinking the voice: neural correlates of voice perception. *Trends in cognitive sciences, 8*(3), 129-135.

Belmonte, M. K., Allen, G., Beckel-Mitchener, A., Boulanger, L. M., Carper, R. A., & Webb, S. J. (2004). Autism and abnormal development of brain connectivity. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience, 24*(42), 9228-9231.

Belmonte, M. K., & Yurgelun-Todd, D. a. (2003). Functional anatomy of impaired selective attention and compensatory processing in autism. *Brain research. Cognitive brain research, 17*(3), 651-664.

Ben-Sasson, A., Hen, L., Fluss, R., Cermak, S. A., Engel-Yeger, B., & Gal, E. (2009). A meta-analysis of sensory modulation symptoms in individuals

with autism spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 39*(1), 1-11.

Ben Bashat, D., Kronfeld-Duenias, V., Zachor, D. A., Ekstein, P. M., Hendler, T., Tarrasch, R., Even, A., Levy, Y., & Ben Sira, L. (2007). Accelerated maturation of white matter in young children with autism: A high b value DWI study. *NeuroImage, 37*(1), 40-47.

Bennetto, L., Pennington, B. F., & Rogers, S. J. (1996). Intact and impaired memory functions in autism. *Child Development, 67*(4), 1816-1835.

Bermudez, P., & Zatorre, R. J. (2005). Conditional associative memory for musical stimuli in nonmusicians: implications for absolute pitch. *The Journal of neuroscience, 25*(34), 7718-7723.

Bernard, J. W. (1986). Messiaen's Synaesthesia: The Correspondence between Color and Sound Structure in His Music. *Music Perception, 4*(1).

Bertone, A., Mottron, L., Jelenic, P., & Faubert, J. (2005). Enhanced and diminished visuo-spatial information processing in autism depends on stimulus complexity. *Brain, 128*(10), 2430-2441.

Bever, T. G., & Chiarello, R. J. (1974). Cerebral dominance in musicians and nonmusicians. *Science (New York, N.Y.), 185*(150), 537-539.

Bey, C., & McAdams, S. (2002). Schema-based processing in auditory scene analysis. *Perception & Psychophysics, 64*(5), 844-854.

Bey, C., & McAdams, S. (2003). Postrecognition of interleaved melodies as an indirect measure of auditory stream formation. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance, 29*(2), 267-279.

Boddaert, N., Chabane, N., Gervais, H., Good, C. D., Bourgeois, M., Plumet, M. H., Barthélémy, C., Mouren, M. C., Artiges, E., Samson, Y., Brunelle, F., Frackowiak, R. S. J., & Zilbovicius, M. (2004). Superior temporal sulcus anatomical abnormalities in childhood autism: a voxel-based morphometry MRI study. *NeuroImage, 23*(1), 364-369.

Bölte, S., Holtmann, M., Poustka, F., Scheurich, A., & Schmidt, L. (2007). Gestalt Perception and Local-Global Processing in High-Functioning Autism. *Journal of Autism & Developmental Disorders, 37*(8), 1493-1504.

Bonnel, A., McAdams, S., Smith, B., Berthiaume, C., Bertone, A., Ciocca, V., Burack, J., & Mottron, L. (2010). Enhanced pure-tone pitch discrimination among persons with autism but not Asperger syndrome. *Neuropsychologia, 48*(9), 2465-2475.

Bonnel, A., Mottron, L., Peretz, I., Trudel, M., Gallun, E., & Bonnel, A. M. (2003). Enhanced pitch sensitivity in individuals with autism: a signal detection analysis. *Journal of Cognitive Neuroscience, 15*(2), 226-235.

Booth, R., Charlton, R., Hughes, C., & Happé, F. (2003). Disentangling weak coherence and executive dysfunction: planning drawing in autism and attention–deficit/hyperactivity disorder. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences, 358*(1430), 387-392.

Booth, R., & Happé, F. (2010). "Hunting with a knife and … fork": Examining central coherence in autism, attention deficit/hyperactivity disorder, and typical development with a linguistic task. *Journal of Experimental Child Psychology, 107*(4), 377-393.

Bor, D., Billington, J., & Baron-Cohen, S. (2007). Savant memory for digits in a case of synaesthesia and Asperger syndrome is related to hyperactivity in the lateral prefrontal cortex. *Neurocase, 13*(5), 311-319.

Bouvet, L., Rousset, S., Valdois, S., & Donnadieu, S. (2011). Global precedence effect in audition and vision: Evidence for similar cognitive styles across modalities. *Acta Psychologica, 138*(2), 329-335.

Bregman, A. (1990). *Auditory scene analysis : the perceptual organization of sound*: The MIT Press.

Brenton, J. N., Devries, S. P., Barton, C., Minnich, H., & Sokol, D. K. (2008). Absolute pitch in a four-year-old boy with autism. *Pediatric neurology, 39*(2), 137-138.

Brosnan, M. J., Scott, F. J., Fox, S., & Pye, J. (2004). Gestalt processing in autism: failure to process perceptual relationships and the implications for contextual understanding. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 45*(3), 459-469.

Brown, W. A., Cammuso, K., Sachs, H., Winklosky, B., Mullane, J., Bernier, R., Svenson, S., Arin, D., Rosen-Sheidley, B., & Folstein, S. E. (2003). Autism-Related Language, Personality, and Cognition in People with Absolute Pitch: Results of a Preliminary Study. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 33*(2), 163-167.

Bruneau, N., Bonnet-Brilhault, F., Gomot, M., Adrien, J. L., & Barthélémy, C. (2003). Cortical auditory processing and communication in children with autism: electrophysiological/behavioral relations. *International Journal of Psychophysiology, 51*(1), 17-25.

Bullier, J. (2001). Integrated model of visual processing. *Brain research. Brain research reviews, 36*(2-3), 96-107.

Burns, E. M., & Campbell, S. L. (1994). Frequency and frequency-ratio resolution by possessors of absolute and relative pitch: examples of categorical perception. *Journal of the Acoustical Society of America, 96*(5 Pt 1), 2704-2719.

Caron, M. J., Mottron, L., Berthiaume, C., & Dawson, M. (2006). Cognitive mechanisms, specificity and neural underpinnings of visuospatial peaks in autism. *Brain, 129*(7), 1789-1802.

Carroll, J. B., & Greenberg, J. H. (1961). Two cases of synaesthesia for color and musical tonality associated with absolute pitch. *Perceptual and Motor Skills, 13*(48).

Casanova, M., & Trippe, J. (2009). Radial cytoarchitecture and patterns of cortical connectivity in autism. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences, 364*(1522), 1433-1436.

Cassia, V. M., Simion, F., Milani, I., & Umiltà, C. (2002). Dominance of global visual properties at birth. *Journal of experimental psychology. General, 131*(3), 398-411.

Ceponiene, R., Lepisto, T., Shestakova, A., Vanhala, R., Alku, P., Naatanen, R., & Yaguchi, K. (2003). Speech-sound-selective auditory impairment in children with autism: they can perceive but do not attend. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 100*(9), 5567-5572.

Chakrabarti, S., & Fombonne, E. (2001). Pervasive developmental disorders in preschool children. *Journal of the American Medical Association, 285*(24), 3093-3099.

Chen, F., Lemonnier, E., Lazartigues, A., & Planche, P. (2008). Non-superior disembedding performance in children with high-functioning autism and its cognitive style account. *Research in Autism Spectrum Disorders, 2*(4), 739-752.

Chen, Y.-H., Rodgers, J., & McConachie, H. (2009). Restricted and Repetitive Behaviours, Sensory Processing and Cognitive Style in Children with Autism Spectrum Disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 39*(4), 635-642.

Chin, C. S. (2003). The Development of Absolute Pitch: A Theory Concerning the Roles of Music Training at an Early Developmental Age and Individual Cognitive Style. *Psychology of Music, 31*(2), 155-171.

Clarke, A. R., Barry, R. J., Heaven, P. C. L., McCarthy, R., Selikowitz, M., & Byrne, M. K. (2008). EEG coherence in adults with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *International Journal of Psychophysiology, 67*(1), 35-40.

Courchesne, E., Carper, R., & Akshoomoff, N. (2003). Evidence of Brain Overgrowth in the First Year of Life in Autism. *JAMA: The Journal of the American Medical Association, 290*(3), 337-344.

Crane, L., Goddard, L., & Pring, L. (2009). Sensory processing in adults with autism spectrum disorders. *Autism, 13*(3), 215-228.

Crawford, J. R., & Garthwaite, P. H. (2002). Investigation of the single case in neuropsychology: confidence limits on the abnormality of test scores and test score differences. *Neuropsychologia, 40*(8), 1196-1208.

Crawford, J. R., Garthwaite, P. H., & Gray, C. D. (2003). Wanted: fully operational definitions of dissociations in single-case studies. *Cortex, 39*(2), 357-370.

Crawford, J. R., Garthwaite, P. H., & Howell, D. C. (2009). On comparing a single case with a control sample: an alternative perspective. *Neuropsychologia, 47*(13), 2690-2695.

Cuddy, L. L., & Cohen, A. J. (1976). Recognition of transposed melodic sequences. *Quarterly journal of experimental psychology, 28*, 255-270.

Cuddy, L. L., Cohen, A. J., & Miller, J. (1979). Melody recognition: The experimental application of musical rules. *Canadian Journal of Psychology/Revue canadienne de psychologie, 33*(3), 148-157.

Damarla, S. R., Keller, T. A., Kana, R. K., Cherkassky, V. L., Williams, D. L., Minshew, N. J., & Just, M. A. (2010). Cortical underconnectivity coupled with preserved visuospatial cognition in autism: Evidence from an fMRI study of an embedded figures task. *Autism Research, 3*(5), 273-279.

Dawson, M., Soulières, I., Gernsbacher, M. A., & Mottron, L. (2007). The level and nature of autistic intelligence. *Psychological science, 18*(8), 657-662.

De Fossé, L., Hodge, S. M., Makris, N., Kennedy, D. N., Caviness, V. S., McGrath, L., Steele, S., Ziegler, D. A., Herbert, M. R., Frazier, J. A., Tager-Flusberg, H., & Harris, G. J. (2004). Language-association cortex asymmetry in

autism and specific language impairment. *Annals of neurology, 56*(6), 757-766.

Demany, L. (1982). Auditory stream segregation in infancy. *Infant Behavior and Development, 5*(2-4), 261-276.

Deruelle, C., & de Schonen, S. (1991). Hemispheric asymmetries in visual pattern processing in infancy. *Brain and Cognition, 16*(2), 151-179.

Deruelle, C., & De Schonen, S. (1995). Pattern processing in infancy: Hemispheric differences in the processing of shape and location of visual components. *Infant Behavior and Development, 18*(2), 123-132.

Deruelle, C., Rondan, C., Gepner, B., & Fagot, J. (2006). Processing of compound visual stimuli by children with autism and Asperger syndrome. *International Journal of Psychology, 41*(2), 97-106.

Deruelle, C., Schon, D., Rondan, C., & Mancini, J. (2005). Global and local music perception in children with Williams syndrome. *Neuroreport, 16*(6), 631-634.

Deutsch, D., Dooley, K., Henthorn, T., & Head, B. (2009). Absolute pitch among students in an American music conservatory: association with tone language fluency. *The Journal of the Acoustical Society of America, 125*(4), 2398-2403.

Deutsch, D., Henthorn, T., Marvin, E., & Xu, H. (2006). Absolute pitch among American and Chinese conservatory students: prevalence differences, and evidence for a speech-related critical period. *The Journal of the Acoustical Society of America, 119*(2), 719-722.

Devergie, A., Grimault, N., Tillmann, B., & Berthommier, F. (2010). Effect of rhythmic attention on the segregation of interleaved melodies. *The Journal of the Acoustical Society of America, 128*(1), 1-7.

Di Martino, A., Kelly, C., Grzadzinski, R., Zuo, X.-N., Mennes, M., Mairena, M. A., Lord, C., Castellanos, F. X., & Milham, M. P. (2011). Aberrant Striatal Functional Connectivity in Children with Autism. *Biological Psychiatry, 69*(9), 847-856.

Donnadieu, S. (2006). Mental representation of the timbre of Complex Sounds. In J. Beauchamp (Ed.), *Analysis, Synthesis, and Perception of Musical Sounds*. London: Springer Verlag.

Dowling, W. J. (1978). Scale and contour: Two components of a theory of memory for melodies. *Psychological Review, 85*(4), 341-354.

Down, J. L. (1887). *On some mental affections of chilhood and youth*. London, UK: Churchill.

Dukette, D., & Stiles, J. (2001). The effects of stimulus density on children's analysis of hierarchical patterns. *Developmental Science, 4*(2), 233-251.

Dunn, W., & Westman, K. (1997). The sensory profile: the performance of a national sample of children without disabilities. *The American Journal of Occupational Therapy, 51*(1), 25-34.

Edgin, J. O., & Pennington, B. F. (2005). Spatial cognition in autism spectrum disorders: superior, impaired, or just intact? *Journal of autism and developmental disorders, 35*(6), 729-745.

Fair, D. A., Cohen, A. L., Power, J. D., Dosenbach, N. U. F., Church, J. A., Miezin, F. M., Schlaggar, B. L., & Petersen, S. E. (2009). Functional Brain

Networks Develop from a “Local to Distributed” Organization. *PLoS Comput Biol, 5*(5), e1000381.
Falter, C. M., Grant, K. C. P., & Davis, G. (2010). Object-based attention benefits reveal selective abnormalities of visual integration in autism. *Autism Research, 3*(3), 128-136.
Falter, C. M., Plaisted, K. C., & Davis, G. (2008). Visuo-spatial processing in autism--testing the predictions of extreme male brain theory. *Journal of autism and developmental disorders, 38*(3), 507-515.
Farroni, T., Valenza, E., Simion, F., & Umilt, C. (2000). Configural processing at birth: Evidence for perceptual organisation. *Perception, 29*(3), 355-372.
Fernald, A., & Mazzie, C. (1991). Prosody and focus in speech to infants and adults. *Developmental Psychology, 27*(2), 209-221.
Ferri, R., Elia, M., Agarwal, N., Lanuzza, B., Musumeci, S. A., & Pennisi, G. (2003). The mismatch negativity and the P3a components of the auditory event-related potentials in autistic low-functioning subjects. *Clinical neurophysiology, 114*(9), 1671-1680.
Fink, G. R., Halligan, P. W., Marshall, J. C., Frith, C. D., Frackowiak, R. S., & Dolan, R. J. (1996). Where in the brain does visual attention select the forest and the trees? *Nature, 382*(6592), 626-628.
Folstein, S., & Rutter, M. (1977). Infantile Autism : a genetic study of 21 twin pairs. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 18*(4), 297-321.
Fombonne, E. (1999). The epidemiology of autism: a review. *Psychological medicine, 29*(4), 769-786.
Fombonne, E. (2001). Is there an epidemic of autism? *Pediatrics, 107*(2), 411-412.
Fombonne, E. (2009). Epidemiology of pervasive developmental disorders. *Pediatric research, 65*(6), 591-598.
Förster, J. (2011). Local and global cross-modal influences between vision and hearing, tasting, smelling, or touching. *Journal of experimental psychology. General, 140*(3), 364-389.
Foxton, J. M., Stewart, M. E., Barnard, L., Rodgers, J., Young, A. H., O'Brien, G., & Griffiths, T. D. (2003). Absence of auditory 'global interference' in autism. *Brain, 126*(12), 2703-2709.
Frith, U. (1989). *Autism : Explaining the Enigma*: Wiley-Blackwell.
Frith, U. (1996). Cognitive explanations of autism. *Acta Paediatrica. Supplement, 416*, 63-68.
Fujisaki, W., & Kashino, M. (2002). The basic hearing abilities of absolute pitch possessors. *Acoustical Science and Technology, 23*(2), 77-83.
Gaffrey, M. S., Kleinhans, N. M., Haist, F., Akshoomoff, N., Campbell, A., Courchesne, E., & Muller, R. A. (2007). Atypical participation of visual cortex during word processing in autism: an fMRI study of semantic decision. *Neuropsychologia, 45*(8), 1672-1684.
Gallace, A., & Spence, C. (2011). To what extent do Gestalt grouping principles influence tactile perception? *Psychological Bulletin, 137*(4), 538-561.
Gauthier, I., Tarr, M. J., Anderson, A. W., Skudlarski, P., & Gore, J. C. (1999). Activation of the middle fusiform 'face area' increases with expertise in recognizing novel objects. *Nature neuroscience, 2*(6), 568-573.

Gervais, H., Belin, P., Boddaert, N., Leboyer, M., Coez, A., Sfaello, I., Barthélémy, C., Brunelle, F., Samson, Y., & Zilbovicius, M. (2004). Abnormal cortical voice processing in autism. *Nature neuroscience, 7*(8), 801-802.

Ghim, H.-R., & Eimas, P. (1988). Global and local processing by 3- and 4-month-old infants. *Attention, Perception, & Psychophysics, 43*(2), 165-171.

Goller, A. I., Otten, L. J., & Ward, J. (2009). Seeing sounds and hearing colors: an event-related potential study of auditory-visual synesthesia. *Journal of cognitive neuroscience, 21*(10), 1869-1881.

Gomot, M., Belmonte, M. K., Bullmore, E. T., Bernard, F., & Baron-Cohen, S. (2008). Brain hyper-reactivity to auditory novel targets in children with high-functioning autism. *Brain, 131*(9), 2479-2488.

Gomot, M., Giard, M. H., Adrien, J. L., Barthelemy, C., & Bruneau, N. (2002). Hypersensitivity to acoustic change in children with autism: electrophysiological evidence of left frontal cortex dysfunctioning. *Psychophysiology, 39*(5), 577-584.

Gomot, M., & Wicker, B. (2011). A challenging, unpredictable world for people with Autism Spectrum Disorder. *International Journal of Psychophysiology*.

Gosselin, N., Peretz, I., Clément, J., & Dalla Bella, S. (2006). Comment le cerveau reconnait il la musique? Autonomie et fractionnement du Système de Reconnaissance Musicale. In D. Boeck (Ed.), *Le cerveau musicien : neuropsychologie cognitive de la perception musicale* (pp. 91-122).

Gregersen, P. K., Kowalsky, E., Kohn, N., & Marvin, E. W. (1999). Absolute pitch: prevalence, ethnic variation, and estimation of the genetic component. *American Journal of Human Genetics, 65*(3), 911-913.

Griffiths, T. D., & Warren, J. D. (2004). What is an auditory object? *Nature reviews. Neuroscience, 5*(11), 887-892.

Grinter, E. J., Maybery, M. T., Pellicano, E., Badcock, J. C., & Badcock, D. R. (2010). Perception of shapes targeting local and global processes in autism spectrum disorders. *Journal of child psychology and psychiatry, and allied disciplines, 51*(6), 717-724.

Groen, W. B., van Orsouw, L., Huurne, N. T., Swinkels, S., van Der Gaag, R.-J., Buitelaar, J. K., & Zwiers, M. P. (2009). Intact spectral but abnormal temporal processing of auditory stimuli in autism. *Journal of autism and developmental disorders, 39*(5), 742-750.

Gross, T. (2005). Global–Local Precedence in the Perception of Facial Age and Emotional Expression by Children with Autism and Other Developmental Disabilities. *Journal of Autism & Developmental Disorders, 35*(6), 773-785.

Grossenbacher, P. G., & Lovelace, C. T. (2001). Mechanisms of synesthesia: cognitive and physiological constraints. *Trends in cognitive sciences, 5*(1), 36-41.

Guillaume, P. (1979). La psychologie de la forme. France: Flammarion.

Haack, P. A., & Radocy, R. E. (1981). A case study of a chromesthetic. *Journal of Research in Music Education, 29*, 85-90.

Haesen, B., Boets, B., & Wagemans, J. (2011). A review of behavioural and electrophysiological studies on auditory processing and speech perception

in autism spectrum disorders. *Research in Autism Spectrum Disorders, 5*(2), 701-714.

Hänggi, J., Beeli, G., Oechslin, M. S., & Jäncke, L. (2008). The multiple synaesthete E.S.: neuroanatomical basis of interval-taste and tone-colour synaesthesia. *NeuroImage, 43*(2), 192-203.

Hänggi, J., Wotruba, D., & Jäncke, L. (2011). Globally Altered Structural Brain Network Topology in Grapheme-Color Synesthesia. *The Journal of Neuroscience, 31*(15), 5816-5828.

Hannon, E. E., Snyder, J. S., Eerola, T., & Krumhansl, C. L. (2004). The role of melodic and temporal cues in perceiving musical meter. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance, 30*(5), 956-974.

Happé, F. (1996). Studying weak central coherence at low levels: children with autism do not succumb to visual illusions. A research note. *Journal of child psychology and psychiatry, and allied disciplines, 37*(7), 873-877.

Happé, F. (1999). Autism: cognitive deficit or cognitive style? *Trends in Cognitive Sciences, 3*(6), 216-222.

Happé, F., & Booth, R. (2008). The power of the positive: revisiting weak coherence in autism spectrum disorders. *Quarterly journal of experimental psychology, 61*(1), 50-63.

Happé, F., & Frith, U. (2006). The weak coherence account: detail-focused cognitive style in autism spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 36*(1), 5-25.

Harrison, T. B., & Stiles, J. (2009). Hierarchical forms processing in adults and children. *Journal of experimental child psychology, 103*(2), 222-240.

Hazlett, H., Poe, M., Gerig, G., Smith, R. G., Provenzale, J., Ross, A., Gilmore, J., & Piven, J. (2005). Magnetic Resonance Imaging and Head Circumference Study of Brain Size in Autism: Birth Through Age 2 Years. *Archives of General Psychiatry, 62*(12), 1366-1376.

Hazlett, H., Poe, M., Lightbody, A., Gerig, G., MacFall, J., Ross, A., Provenzale, J., Martin, A., Reiss, A., & Piven, J. (2009). Teasing apart the heterogeneity of autism: Same behavior, different brains in toddlers with fragile X syndrome and autism. *Journal of Neurodevelopmental Disorders, 1*(1), 81-90.

Heaton, P. (2003). Pitch memory, labeling and disembedding in autism. *Journal of Child Psychology & Psychiatry, 44*(4), 543-551.

Heaton, P. (2005). Interval and contour processing in autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 35*(6), 787-793.

Heaton, P. (2009). Assessing musical skills in autistic children who are not savants. *Philosophical Transactions of The Royal Society*(364), 1443-1447.

Heaton, P., Davis, R., & Happé, F. (2008). Research note: exceptional absolute pitch perception for spoken words in an able adult with autism. *Neuropsychologia, 46*(7), 2095-2098.

Heaton, P., Hermelin, B., & Pring, L. (1998). Autism and pitch processing: A precursor for savant musical ability. *Music Perception, 15*(3), 291-305.

Heaton, P., Pring, L., & Hermelin, B. (1999). A pseudo-savant: A case of exceptional musical splinter skills. *Neurocase, 5*(6), 503-509.

Heaton, P., & Wallace, G. (2004). Annotation: the savant syndrome. *Journal of child psychology and psychiatry, and allied disciplines, 45*(5), 899-911.

Heaton, P., Williams, K., Cummins, O., & Happé, F. (2007). Beyond perception: musical representation and on-line processing in autism. *Journal of autism and developmental disorders, 37*(7), 1355-1360.

Heaton, P., Williams, K., Cummins, O., & Happé, F. (2008). Autism and pitch processing splinter skills: a group and subgroup analysis. *Autism: The International Journal of Research and Practice, 12*(2), 203-219.

Herbert, M. R., Harris, G. J., Adrien, K. T., Ziegler, D. A., Makris, N., Kennedy, D. N., Lange, N. T., Chabris, C. F., Bakardjiev, A., Hodgson, J., Takeoka, M., Tager-Flusberg, H., & Caviness, V. S. (2002). Abnormal asymmetry in language association cortex in autism. *Annals of neurology, 52*(5), 588-596.

Herbert, M. R., Ziegler, D. A., Makris, N., Filipek, P. A., Kemper, T. L., Normandin, J. J., Sanders, H. A., Kennedy, D. N., & Caviness, V. S. (2004). Localization of white matter volume increase in autism and developmental language disorder. *Annals of neurology, 55*(4), 530-540.

Hermelin, B. (2001). *Bright Splinters of the Mind: A Personal Story of Research with Autistic Savants*: Jessica Kingsley Publishers.

Hirata, Y., Kuriki, S., & Pantev, C. (1999). Musicians with absolute pitch show distinct neural activities in the auditory cortex. *Neuroreport, 10*(5), 999-1002.

Hochel, M., & Milán, E. G. (2008). Synaesthesia: the existing state of affairs. *Cognitive neuropsychology, 25*(1), 93-117.

Hubbard, E., Brang, D., & Ramachandran, V. S. (2011). The cross-activation theory at 10. *Journal of Neuropsychology, 5*(2), 152-177.

Hubbard, E., & Ramachandran, V. (2005). Neurocognitive mechanisms of synesthesia. *Neuron, 48*(3), 509-520.

Hubner, R. (1997). The effect of spatial frequency on global precedence and hemispheric differences. *Perception & Psychophysics, 59*(2), 187-201.

Hughes, H. C., Nozawa, G., & Kitterle, F. (1996). Global precedence, spatial frequency channels, and the statistics of natural images. *Journal of cognitive neuroscience, 8*(3), 197-230.

Hupé, J.-M., Bordier, C., & Dojat, M. (2011). The Neural Bases of Grapheme–Color Synesthesia Are Not Localized in Real Color-Sensitive Areas. *Cerebral Cortex*.

Hyde, K., Samson, F., Evans, A., & Mottron, L. (2010). Neuroanatomical differences in brain areas implicated in perceptual and other core features of autism revealed by cortical thickness analysis and voxel-based morphometry. *Human brain mapping, 31*(4), 556-566.

Iacoboni, M., & Dapretto, M. (2006). The mirror neuron system and the consequences of its dysfunction. [10.1038/nrn2024]. *Nat Rev Neurosci, 7*(12), 942-951.

IMGSAC. (2001). A genomewide screen for autism: strong evidence for linkage to chromosomes 2q, 7q, and 16p. *American journal of human genetics, 69*(3), 570-581.

Ivry, R. B., & Robertson, L. C. (1998). *The two sides of perception*. Cambridge: MIT Press.

Jamain, S., Quach, H., Betancur, C., Rastam, M., Colineaux, C., Gillberg, I. C., Soderstrom, H., Giros, B., Leboyer, M., Gillberg, C., & Bourgeron, T. (2003). Mutations of the X-linked genes encoding neuroligins NLGN3 and NLGN4 are associated with autism. *Nature Genetics, 34*(1), 27-29.

Jansson-Verkasalo, E., Ceponiene, R., Kielinen, M., Suominen, K., Jäntti, V., Linna, S. L., Moilanen, I., & Näätänen, R. (2003). Deficient auditory processing in children with Asperger Syndrome, as indexed by event-related potentials. *Neuroscience letters, 338*(3), 197-200.

Jarick, M., Dixon, M. J., Maxwell, E. C., Nicholls, M. E. R., & Smilek, D. (2009). The ups and downs (and lefts and rights) of synaesthetic number forms: Validation from spatial cueing and SNARC-type tasks. *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior, 45*(10), 1190-1199.

Jarrold, C., Gilchrist, I., & Bender, A. (2005). Embedded figures detection in autism and typical development: preliminary evidence of a double dissociation in relationships with visual search. *Developmental science, 8*(4), 344-351.

Jarrold, C., & Russell, J. (1997). Counting abilities in autism: possible implications for central coherence theory. *Journal of autism and developmental disorders, 27*(1), 25-37.

Järvinen-Pasley, A., & Heaton, P. (2007). Evidence for reduced domain-specificity in auditory processing in autism. *Developmental science, 10*(6), 786-793.

Järvinen-Pasley, A., Pasley, J., & Heaton, P. (2008). Is the linguistic content of speech less salient than its perceptual features in autism? *Journal of autism and developmental disorders, 38*(2), 239-248.

Järvinen-Pasley, A., Wallace, G., Ramus, F., Happé, F., & Heaton, P. (2008). Enhanced perceptual processing of speech in autism. *Developmental science, 11*(1), 109-121.

Johnson, D., Allison, C., & Baron-Cohen, S. (2011, 2011). *Synaesthesia in adults with high functioning autism and Asperger Syndrome.* Paper presented at the UK Synaesthesia Association Annual Conference, London.

Jolliffe, T., & Baron-Cohen, S. (1997). Are people with autism and Asperger syndrome faster than normal on the Embedded Figures Test? *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines, 38*(5), 527-534.

Jones, C., Happé, F., Baird, G., Simonoff, E., Marsden, A., Tregay, J., Phillips, R., Goswami, U., Thomson, J., & Charman, T. (2009). Auditory discrimination and auditory sensory behaviours in autism spectrum disorders. *Neuropsychologia, 47*(13), 2850-2858.

Just, M. A., Cherkassky, V. L., Keller, T. a., & Minshew, N. J. (2004). Cortical activation and synchronization during sentence comprehension in high-functioning autism: evidence of underconnectivity. *Brain : a journal of neurology, 127*(Pt 8), 1811-1821.

Justus, T., & List, A. (2005). Auditory attention to frequency and time: an analogy to visual local-global stimuli. *Cognition, 98*(1), 31-51.

Kaland, N., Callesen, K., Møller-Nielsen, A., Mortensen, E., & Smith, L. (2008). Performance of Children and Adolescents with Asperger Syndrome or

High-functioning Autism on Advanced Theory of Mind Tasks. *Journal of Autism & Developmental Disorders, 38*(6), 1112-1123.

Kanner, L. (1943). Autistic disturbances of affective contact. *Nervous Child, 2*, 217-250.

Karmiloff-Smith, A. (1998). Development itself is the key to understanding developmental disorders. *Trends in Cognitive Sciences, 2*(10), 389-398.

Karmiloff-Smith, A. (2009). Nativism versus neuroconstructivism: Rethinking the study of developmental disorders. *Developmental Psychology, 45*(1), 56-63.

Karmiloff-Smith, A., Thomas, M., Annaz, D., Humphreys, K., Ewing, S., Brace, N., Duuren, M., Pike, G., Grice, S., & Campbell, R. (2004). Exploring the Williams syndrome face-processing debate: the importance of building developmental trajectories. *Journal of child psychology and psychiatry, and allied disciplines, 45*(7), 1258-1274.

Kasai, K., Hashimoto, O., Kawakubo, Y., Yumoto, M., Kamio, S., Itoh, K., Koshida, I., Iwanami, A., Nakagome, K., Fukuda, M., Yamasue, H., Yamada, H., Abe, O., Aoki, S., & Kato, N. (2005). Delayed automatic detection of change in speech sounds in adults with autism: a magnetoencephalographic study. *Clinical neurophysiology, 116*(7), 1655-1664.

Keehn, B., Brenner, L. A., Ramos, A. I., Lincoln, A. J., Marshall, S. P., & Müller, R.-A. (2009). Brief report: eye-movement patterns during an embedded figures test in children with ASD. *Journal of autism and developmental disorders, 39*(2), 383-387.

Keenan, J. P., Thangaraj, V., Halpern, A. R., & Schlaug, G. (2001). Absolute pitch and planum temporale. *Neuroimage, 14*(6), 1402-1408.

Kellerman, G. R., Fan, J., & Gorman, J. M. (2005). Auditory abnormalities in autism: toward functional distinctions among findings. *CNS Spectrum, 10*(9), 748-756.

Kern, J. K., Trivedi, M. H., Garver, C. R., Grannemann, B. D., Andrews, A. A., Savla, J. S., Johnson, D. G., Mehta, J. A., & Schroeder, J. L. (2006). The pattern of sensory processing abnormalities in autism. *Autism, 10*(5), 480-494.

Kern, J. K., Trivedi, M. H., Grannemann, B. D., Garver, C. R., Johnson, D. G., Andrews, A. A., Savla, J. S., Mehta, J. A., & Schroeder, J. L. (2007). Sensory correlations in autism. *Autism: The International Journal of Research and Practice, 11*(2), 123-134.

Khalfa, S., Bruneau, N., Roge, B., Georgieff, N., Veuillet, E., Adrien, J., Barthelemy, C., & Collet, L. (2004). Increased perception of loudness in autism. *Hearing Research, 198*(1-2), 87-92.

Kimchi, R. (1992). Primacy of wholistic processing and global/local paradigm: A critical review. *Psychological Bulletin, 112*(1), 24-38.

Kimchi, R. (1998). Uniform Connectedness and Grouping in the Perceptual Organization of Hierarchical Patterns. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 24*(4), 1105-1118.

Kimchi, R., Hadad, B., Behrmann, M., & Palmer, S. E. (2005). Microgenesis and ontogenesis of perceptual organization: evidence from global and local processing of hierarchical patterns. *Psychological science, 16*(4), 282-290.

Klein, M., Coles, M. G., & Donchin, E. (1984). People with Absolute Pitch Process Tones Without Producing a P300. *Science, 223*(4642), 1306-1309.

Koelsch, S. (2011). Towards a neural basis of music perception - A review and updated model. *Frontiers in Psychology, 2*(110).

Koelsch, S., Gunter, T. C., v Cramon, D. Y., Zysset, S., Lohmann, G., & Friederici, A. D. (2002). Bach speaks: a cortical "language-network" serves the processing of music. *NeuroImage, 17*(2), 956-966.

Koelsch, S., Gunter, T. C., Wittfoth, M., & Sammler, D. (2005). Interaction between Syntax Processing in Language and in Music: An ERP Study. *Journal of Cognitive Neuroscience, 17*(10), 1565-1577.

Kozhevnikov, M. (2007). Cognitive styles in the context of modern psychology: toward an integrated framework of cognitive style. *Psychological bulletin, 133*(3), 464-481.

Kubovy, M., & Valkenburg, V. (2001). Auditory and visual objects. *Cognition, 80*(1), 97-126.

Kuhl, P., Coffey-Corina, S., Padden, D., & Dawson, G. (2005). Links between social and linguistic processing of speech in preschool children with autism: behavioral and electrophysiological measures. *Developmental science, 8*(1), 1-12.

Kujala, T., Lepistö, T., Nieminen-von Wendt, T., Näätänen, P., & Näätänen, R. (2005). Neurophysiological evidence for cortical discrimination impairment of prosody in Asperger syndrome. *Neuroscience letters, 383*(3), 260-265.

Lakatos, S., & Marks, L. E. (1999). Haptic form perception: Relative salience of local and global features. *Perception & psychophysics, 61*(5), 895-908.

Lamb, M. R., & Robertson, L. C. (1988). The processing of hierarchical stimuli: effects of retinal locus, locational uncertainty, and stimulus identity. *Perception & psychophysics, 44*(2), 172-181.

Lamb, M. R., Robertson, L. C., & Knight, R. T. (1990). Component mechanisms underlying the processing of hierarchically organized patterns: inferences from patients with unilateral cortical lesions. *Journal of experimental psychology. Learning, memory, and cognition, 16*(3), 471-483.

Lassonde, M., Mottron, L., Peretz, I., Schiavetto, A., Hébert, S., & Décarie, J.-C. (1999). Loss of global visual and auditory processing following right temporal lobe lesion. *Brain and Cognition, 40*(1), 162-166.

Lavie, N. (1995). Perceptual load as a necessary condition for selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 21*(3), 451-468.

Lavie, N. (2010). Attention, Distraction, and Cognitive Control Under Load. *Current Directions in Psychological Science, 19*(3), 143-148.

Lee, P. S., Foss-Feig, J., Henderson, J. G., Kenworthy, L. E., Gilotty, L., Gaillard, W. D., & Vaidya, C. J. (2007). Atypical neural substrates of Embedded Figures Task performance in children with Autism Spectrum Disorder. *NeuroImage, 38*(1), 184-193.

Leech, R., Holt, L. L., Devlin, J. T., & Dick, F. (2009). Expertise with artificial nonspeech sounds recruits speech-sensitive cortical regions. *The Journal of neuroscience, 29*(16), 5234-5239.

Lepistö, T., Kajander, M., Vanhala, R., Alku, P., Huotilainen, M., Näätänen, R., & Kujala, T. (2008). The perception of invariant speech features in children with autism. *Biological psychology, 77*(1), 25-31.

Lepistö, T., Kuitunen, A., Sussman, E., Saalasti, S., Jansson-Verkasalo, E., Nieminen-von Wendt, T., & Kujala, T. (2009). Auditory stream segregation in children with Asperger syndrome. *Biological Psychology, 82*(3), 301-307.

Lepistö, T., Kujala, T., Vanhala, R., Alku, P., Huotilainen, M., & Näätänen, R. (2005). The discrimination of and orienting to speech and non-speech sounds in children with autism. *Brain Research, 1066*(1-2), 147-157.

Levitin, D. J., & Rogers, S. E. (2005). Absolute pitch: perception, coding, and controversies. *Trends in cognitive sciences, 9*(1), 26-33.

Liebenthal, E., Desai, R., Ellingson, M. M., Ramachandran, B., Desai, A., & Binder, J. R. (2010). Specialization along the Left Superior Temporal Sulcus for Auditory Categorization. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991), 20*(12), 2958-2970.

Liegeois-Chauvel, C., Peretz, I., Babai, M., Laguitton, V., & Chauvel, P. (1998). Contribution of different cortical areas in the temporal lobes to music processing. *Brain, 121 (10)*, 1853-1867.

List, A., Justus, T., Robertson, L. C., & Bentin, S. (2007). A mismatch negativity study of local-global auditory processing. *Brain Research, 1153*, 122-133.

Liu, Y., Cherkassky, V. L., Minshew, N. J., & Just, M. A. (2011). Autonomy of lower-level perception from global processing in autism: Evidence from brain activation and functional connectivity. *Neuropsychologia*.

Lord, C., Rutter, M., & Le Couteur, A. (1994). Autism Diagnostic Interview-revised : A revised version of a diagnostic interview for caregivers of individuals with possible pervasive developmental disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 24*(5).

Loth, E., Carlos Gómez, J., & Happé, F. (2008). Detecting changes in naturalistic scenes: contextual inconsistency does not influence spontaneous attention in high-functioning people with autism spectrum disorder. *Autism research : official journal of the International Society for Autism Research, 1*(3), 179-188.

Loth, E., Gómez, J., & Happé, F. (2010a). Do High-Functioning People with Autism Spectrum Disorder Spontaneously Use Event Knowledge to Selectively Attend to and Remember Context-Relevant Aspects in Scenes? *Journal of autism and developmental disorders*.

Loth, E., Gómez, J., & Happé, F. (2010b). When seeing depends on knowing: adults with Autism Spectrum Conditions show diminished top-down processes in the visual perception of degraded faces but not degraded objects. *Neuropsychologia, 48*(5), 1227-1236.

Loui, P., Li, H. C. C., Hohmann, A., & Schlaug, G. (2010). Enhanced Cortical Connectivity in Absolute Pitch Musicians: A Model for Local Hyperconnectivity. *Journal of cognitive neuroscience*.

Macmillan, N. A., & Creelman, C. D. (1991). *Detection Theory : a user's guide*: Lawrence Erlbaum Associates.

Manjaly, Z. M., Bruning, N., Neufang, S., Stephan, K. E., Brieber, S., Marshall, J. C., Kamp-Becker, I., Remschmidt, H., Herpertz-Dahlmann, B., Konrad, K.,

& Fink, G. R. (2007). Neurophysiological correlates of relatively enhanced local visual search in autistic adolescents. *Neuroimage, 35*(1), 283-291.

Markram, H., Rinaldi, T., & Markram, K. (2007). The Intense World Syndrome – an alternative hypothesis for autism *Frontiers in human neuroscience, 1*(1), 77-96.

Markram, K., & Markram, H. (2010). The intense world theory - a unifying theory of the neurobiology of autism. *Frontiers in human neuroscience, 4*, 224-224.

McAlonan, G. M., Cheung, V., Cheung, C., Suckling, J., Lam, G. Y., Tai, K. S., Yip, L., Murphy, D. G. M., & Chua, S. E. (2005). Mapping the brain in autism. A voxel-based MRI study of volumetric differences and intercorrelations in autism. *Brain, 128*(2), 268-276.

McCann, J., & Peppe, S. (2003). Prosody in autism spectrum disorders: a critical review. *International Journal of Language and Communication Disorders, 38*(4), 325-350.

Micheloyannis, S., Pachou, E., Stam, C. J., Breakspear, M., Bitsios, P., Vourkas, M., Erimaki, S., & Zervakis, M. (2006). Small-world networks and disturbed functional connectivity in schizophrenia. *Schizophrenia Research, 87*(1-3), 60-66.

Miller, L. K. (1989). *Musical savants: exceptional skill in the mentally retarded*. NJ: Lawrence Erlbaum: 266.

Minshew, N. J., & Williams, D. L. (2007). The New Neurobiology of Autism: Cortex, Connectivity, and Neuronal Organization. *Archives of Neurology, 64*(7), 945-950.

Mitchell, P., Mottron, L., Soulières, I., & Ropar, D. (2010). Susceptibility to the Shepard illusion in participants with autism: reduced top-down influences within perception? *Autism Research, 3*(3), 113-119.

Miyazaki, K. (1988). Musical pitch identification by absolute pitch possessors. *Perception & psychophysics, 44*(6), 501-512.

Miyazaki, K. (2004a). How well do we understand absolute pitch. *Acoustical Science and Technology, 25*(6), 426-432.

Miyazaki, K. (2004b). Recognition of transposed melodies by absolute-pitch possessors. *Japanese Psychological research, 46*(4), 270-282.

Miyazaki, K., & Rakowski, A. (2002). Recognition of notated melodies by possessors and nonpossessors of absolute pitch. *Perception and Psychophysics, 64*(8), 1337-1345.

Mondloch, C. J., Geldart, S., Maurer, D., & de Schonen, S. (2003). Developmental changes in the processing of hierarchical shapes continue into adolescence. *Journal of experimental child psychology, 84*(1), 20-40.

Moore, D. R., Cowan, J. A., Riley, A., Edmondson-Jones, A. M., & Ferguson, M. A. (2011). Development of auditory processing in 6- to 11-yr-old children. *Ear and hearing, 32*(3), 269-285.

Morsanyi, K., & Holyoak, K. J. (2010). Analogical reasoning ability in autistic and typically developing children. *Developmental science, 13*(4), 578-587.

Moses, P., Roe, K., Buxton, R. B., Wong, E. C., Frank, L. R., & Stiles, J. (2002). Functional MRI of Global and Local Processing in Children. *NeuroImage, 16*(2), 415-424.

Mottron, L. (2004). Matching strategies in cognitive research with individuals with high-functioning autism: current practices, instrument biases, and recommendations. *Journal of Autism & Developmental Disorders, 34*(1), 19-27.

Mottron, L. (2006). *L'autisme : une autre intelligence*: Mardaga.

Mottron, L., & Belleville, S. (1993). A study of perceptual analysis in a high-level autistic subject with exceptional graphic abilities. *Brain & Cognition, 23*(2), 279-309.

Mottron, L., Belleville, S., & Menard, E. (1999). Local bias in autistic subjects as evidenced by graphic tasks: perceptual hierarchization or working memory deficit? *Journal of Child Psychology & Psychiatry, 40*(5), 743-755.

Mottron, L., Bonnel, A., Bouvet, L., Samson, F., Burack, J., & Heaton, P. (soumis). Linking absolute pitch, savant syndrome and synesthesia to autism; The case for enhanced veridical perceptual mapping.

Mottron, L., & Burack, J. A. (2001). Enhanced perceptual functionning in the development of autism. In J. Burack, T. Charman, N. Yirmiya & P. Zelazo (Eds.), (pp. 131-148). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Mottron, L., Burack, J. A., Iarocci, G., Belleville, S., & Enns, J. T. (2003). Locally oriented perception with intact global processing among adolescents with high-functioning autism: evidence from multiple paradigms. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines, 44*(6), 904-913.

Mottron, L., Burack, J. A., Stauder, J. E., & Robaey, P. (1999). Perceptual processing among high-functioning persons with autism. *Journal of Child Psychology & Psychiatry, 40*(2), 203-211.

Mottron, L., Dawson, M., & Soulières, I. (2009). Enhanced perception in savant syndrome: patterns, structure and creativity. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, 364*(1522), 1385-1391.

Mottron, L., Dawson, M., Soulieres, I., Hubert, B., & Burack, J. (2006). Enhanced perceptual functioning in autism: an update, and eight principles of autistic perception. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 36*(1), 27-43.

Mottron, L., Peretz, I., Belleville, S., & Rouleau, N. (1999). Absolute pitch in autism: A case study. *Neurocase, 5*(6), 485-501.

Mottron, L., Peretz, I., & Menard, E. (2000). Local and global processing of music in high-functioning persons with autism: beyond central coherence? *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 41*(8), 1057-1065.

Mottron, L., Soulières, I., & Dawson, M. (2011). Perception.

Navon, D. (1977). Forest before trees : the precedence of global features in visual perception. *Cognitive Psychology, 9*, 353-383.

Navon, D. (1981). The forest revisited: More on global precedence. *Psychological Research, 43*(1), 1-32.

Nickl-Jockschat, T., Habel, U., Maria Michel, T., Manning, J., Laird, A. R., Fox, P. T., Schneider, F., & Eickhoff, S. B. (2011). Brain structure anomalies in autism spectrum disorder-a meta-analysis of VBM studies using anatomic likelihood estimation. *Human brain mapping*.

Nieto Del Rincón, P. L. (2008). Autism: alterations in auditory perception. *Reviews in the Neurosciences, 19*(1), 61-78.

Norman, J. F., Norman, H. F., Clayton, A. M., Lianekhammy, J., & Zielke, G. (2004). The visual and haptic perception of natural object shape. *Perception & Psychophysics, 66*(2), 342-351.

O'Neill, M., & Jones, R. S. (1997). Sensory-perceptual abnormalities in autism: a case for more research? *Journal of Autism and Developmental Disorders, 27*(3), 283-293.

O'Riordan, M., & Passetti, F. (2006). Discrimination in autism within different sensory modalities. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 36*(5), 665-675.

O'Roak, B. J., & State, M. W. (2008). Autism genetics: strategies, challenges, and opportunities. *Autism Research, 1*(1), 4-17.

Oliva, A., & Schyns, P. G. (1997). Coarse Blobs or Fine Edges? Evidence That Information Diagnosticity Changes the Perception of Complex Visual Stimuli. *Cognitive Psychology, 34*(1), 72-107.

Oram Cardy, J. E., Flagg, E. J., Roberts, W., Brian, J., & Roberts, T. P. L. (2005). Magnetoencephalography identifies rapid temporal processing deficit in autism and language impairment. *NeuroReport, 16*(4), 329-332.

Ozonoff, S., Pennington, B., & Rogers, S. (1991). Executive function deficits in high-functioning autistic individuals: Relationship to theory of mind. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 32*(7), 1081-1105.

Ozonoff, S., Strayer, D. L., McMahon, W. M., & Filloux, F. (1994). Executive function abilities in autism and Tourette syndrome: an information processing approach. *Journal of child psychology and psychiatry, and allied disciplines, 35*(6), 1015-1032.

Palmer, S. (1999). Les théories contemporaines de la perception de Gestlat. *Intellectica, 28*(53-91).

Parker, E. S., Cahill, L., & McGaugh, J. L. (2006). A case of unusual autobiographical remembering. *Neurocase, 12*(1), 35-49.

Patel, A. D., Peretz, I., Tramo, M., & Labreque, R. (1998). Processing Prosodic and Musical Patterns: A Neuropsychological Investigation. *Brain and Language, 61*(1), 123-144.

Peretz, I. (1987). Shifting ear differences in melody comparison through transposition. *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior, 23*(2), 317-323.

Peretz, I. (1990). Processing of local and global musical information by unilateral brain-damaged patients. *Brain, 113*(4), 1185-1205.

Peretz, I., & Hyde, K. (2003). What is specific to music processing? Insights from congenital amusia. *Trends in Cognitive Sciences, 7*(8), 362-367.

Peretz, I., & Kolinsky, R. (1993). Boundaries of separability between melody and rhythm in music discrimination: A neuropsychological perspective. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A, 46*(2), 301-325.

Peretz, I., & Morais, J. (1980). Modes of processing melodies and ear-asymmetry in nonmusicians. *Neuropsychologia, 20*, 447-489.

Peretz, I., & Morais, J. (1987). Analytic processing in the classification of melodies as same or different. *Neuropsychologia, 25*, 645-652.

Peretz, I., & Morais, J. (1993). Specificity for music. In F. Boller & J. Grafman (Eds.), *Handbook of Neuropsychology* (Vol. 8, pp. 373-390). Amsterdam: Elservier.

Peretz, I., & Zatorre, R. J. (2005). Brain organization for music processing. *Annual review of psychology, 56*, 89-114.

Perreault, A., Gurnsey, R., Dawson, M., Mottron, L., & Bertone, A. (2011). Increased Sensitivity to Mirror Symmetry in Autism. *PLoS ONE, 6*(4), e19519-e19519.

Petrides, M. (1985). Deficits on conditional associative-learning tasks after frontal- and temporal-lobe lesions in man. *Neuropsychologia, 23*(5), 601-614.

Peyrin, C., Chauvin, A., Chokron, S., & Marendaz, C. (2003). Hemispheric specialization for spatial frequency processing in the analysis of natural scenes. *Brain and cognition, 53*(2), 278-282.

Peyrin, C., Michel, C. M., Schwartz, S., Thut, G., Seghier, M., Landis, T., Marendaz, C., & Vuilleumier, P. (2010). The neural substrates and timing of top-down processes during coarse-to-fine categorization of visual scenes: a combined fMRI and ERP study. *Journal of cognitive neuroscience, 22*(12), 2768-2780.

Phillips, F., Egan, E. J. L., & Perry, B. N. (2009). Perceptual equivalence between vision and touch is complexity dependent. *Acta psychologica, 132*(3), 259-266.

Plaisted, K., Dobler, V., Bell, S., & Davis, G. (2006). The microgenesis of global perception in autism. *Journal of Autism & Developmental Disorders, 36*(1), 107-116.

Plaisted, K., O'Riordan, M., & Baron-Cohen, S. (1998). Enhanced discrimination of novel, highly similar stimuli by adults with autism during a perceptual learning task. *Journal of child psychology and psychiatry, and allied disciplines, 39*(5), 765-775.

Plaisted, K., Swettenham, J., & Rees, L. (1999). Children with autism show local precedence in a divided attention task and global precedence in a selective attention task. *Journal of Child Psychology & Psychiatry, 40*(5), 733-742.

Plantinga, J., & Trainor, L. J. (2005). Memory for melody: infants use a relative pitch code. *Cognition, 98*(1), 1-11.

Poirel, N., Mellet, E., Houdé, O., & Pineau, A. (2008). First came the trees, then the forest: developmental changes during childhood in the processing of visual local-global patterns according to the meaningfulness of the stimuli. *Developmental psychology, 44*(1), 245-253.

Poirel, N., Pineau, A., & Mellet, E. (2006). Implicit identification of irrelevant local objects interacts with global/local processing of hierarchical stimuli. *Acta psychologica, 122*(3), 321-336.

Poirel, N., Pineau, A., & Mellet, E. (2008). What does the nature of the stimuli tell us about the Global Precedence Effect? *Acta psychologica, 127*(1), 1-11.

Poirel, N., Simon, G., Cassotti, M., Leroux, G., Perchey, G., Lanoë, C., Lubin, A., Turbelin, M.-R., Rossi, S., Pineau, A., & Houdé, O. (2011). The Shift from Local to Global Visual Processing in 6-Year-Old Children Is Associated with Grey Matter Loss. *PLoS ONE, 6*(6), e20879.

Premack, D., & Woodruff, G. (1978). Does the chimpanzee have a theory of mind? *Behavioral and Brain Sciences, 1*(4), 515-526.

Pressnitzer, D., & Hupé, J.-M. (2006). Temporal dynamics of auditory and visual bistability reveal common principles of perceptual organization. *Current biology, 16*(13), 1351-1357.

Profita, J., & Bidder, T. G. (1988). Perfect pitch. *American Journal of Medical Genetics, 29*(4), 763-771.

Quinn, P. C., Bhatt, R. S., & Hayden, A. (2008). What Goes with What? Development of Perceptual Grouping in Infancy. [doi: 10.1016/S0079-7421(08)00003-0]. *Psychology of Learning and Motivation, Volume 49*, 105-146.

Rakowski, A. (1993). Categorical perception in absolute pitch. *Archives of Acoustics, 18*, 515-523.

Ramachandran, V. S., & Hubbard, E. M. (2001). Psychophysical investigations into the neural basis of synaesthesia. *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society, 268*(1470), 979-983.

Rapin, I., & Dunn, M. (2003). Update on the language disorders of individuals on the autistic spectrum. *Brain & Development, 25*(3), 166-172.

Raven, J. R. J. C., & Court, J. H. (1998). *Raven manual: Section 3. Standard progressive matrices*. Oxford, England: Press, Oxford Psychologists.

Remington, A., Swettenham, J., Campbell, R., & Coleman, M. (2009). Selective Attention and Perceptual Load in Autism Spectrum Disorder. *Psychological Science, 20*(11), 1388-1393.

Rich, A. N., Bradshaw, J. L., & Mattingley, J. B. (2005). A systematic, large-scale study of synaesthesia: implications for the role of early experience in lexical-colour associations. *Cognition, 98*(1), 53-84.

Richards, T. L., & Berninger, V. W. (2008). Abnormal fMRI connectivity in children with dyslexia during a phoneme task: Before but not after treatment. *Journal of Neurolinguistics, 21*(4), 294-304.

Rimland, B., & Fein, D. (1988). Special talents and autistic savants. In L. O. Fein (Ed.), *The exceptional brain: neuropsychology of talent and special abilities* (pp. 474-493): New York: Guilford Press.

Rinehart, N. J., Bradshaw, J. L., Moss, S. A., Brereton, A. V., & Tonge, B. J. (2000). Atypical interference of local detail on global processing in high-functioning autism and Asperger's disorder. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 41*(6), 769-778.

Ring, H. A., Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., Williams, S. C., Brammer, M., Andrew, C., & Bullmore, E. T. (1999). Cerebral correlates of preserved cognitive skills in autism: a functional MRI study of embedded figures task performance. *Brain, 122*(7), 1305-1315.

Rippon, G., Brock, J., Brown, C., & Boucher, J. (2007). Disordered connectivity in the autistic brain: challenges for the "new psychophysiology". *International journal of psychophysiology, 63*(2), 164-172.

Robertson, L. C. (1996). Attentional persistence for features of hierarchical patterns. *Journal of experimental psychology. General, 125*(3), 227-249.

Rogers, S. J., Hepburn, S., & Wehner, E. (2003). Parent reports of sensory symptoms in toddlers with autism and those with other developmental disorders. *Journal of autism and developmental disorders, 33*(6), 631-642.

Rogers, S. J., & Ozonoff, S. (2005). Annotation: what do we know about sensory dysfunction in autism? A critical review of the empirical evidence. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines, 46*(12), 1255-1268.

Rojas, D. C., Bawn, S. D., Benkers, T. L., Reite, M. L., & Rogers, S. J. (2002). Smaller left hemisphere planum temporale in adults with autistic disorder. *Neuroscience Letters, 328*(3), 237-240.

Rojas, D. C., Camou, S. L., Reite, M. L., & Rogers, S. J. (2005). Planum temporale volume in children and adolescents with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 35*(4), 479-486.

Rondan, C., & Deruelle, C. (2007). Global and configural visual processing in adults with autism and Asperger syndrome. *Research in developmental disabilities, 28*(2), 197-206.

Ropar, D., & Mitchell, P. (1999). Are Individuals with Autism and Asperger's Syndrome Susceptible to Visual Illusions ? *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 40*(8), 1283-1293.

Ropar, D., & Mitchell, P. (2001). Susceptibility to illusions and performance on visuospatial tasks in individuals with autism. *Journal of Child Psychology & Psychiatry, 42*(4), 539-549.

Ropar, D., & Mitchell, P. (2002). Shape constancy in autism: the role of prior knowledge and perspective cues. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 43*(5), 647-653.

Rouw, R., & Scholte, H. S. (2007). Increased structural connectivity in grapheme-color synesthesia. *Nature neuroscience, 10*(6), 792-797.

Rutter, M. (1968). Concepts of Autism : a review of research. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 9*(1), 1-25.

Saffran, J. R. (2003). Musical learning and language development. *Annals of the New York Academy of Sciences, 999*, 397-401.

Saffran, J. R., & Griepentrog, G. J. (2001). Absolute pitch in infant auditory learning: evidence for developmental reorganization. *Developmental Psychology, 37*(1), 74-85.

Samson, F., Hyde, K., Bertone, A., Soulières, I., Mendrek, A., Ahad, P., Mottron, L., & Zeffiro, T. (2011). Atypical processing of auditory temporal complexity in autistics. *Neuropsychologia, 49*(3), 546-555.

Samson, F., Mottron, L., Jemel, B., Belin, P., & Ciocca, V. (2006). Can spectro-temporal complexity explain the autistic pattern of performance on auditory tasks? *Journal of Autism & Developmental Disorders, 36*(1), 65-76.

Samson, F., Mottron, L., Soulières, I., & Zeffiro, T. A. (2011). Enhanced visual functioning in autism: an ALE meta-analysis. *Human Brain Mapping*.

Samson, F., Zeffiro, T., Toussaint, A., & Belin, P. (2011). Stimulus Complexity and Categorical Effects in Human Auditory Cortex: An Activation Likelihood Estimation Meta-Analysis. *Frontiers in Psychology, 1*.

Sanders, L. D., & Poeppel, D. (2007). Local and global auditory processing: behavioral and ERP evidence. *Neuropsychologia, 45*(6), 1172-1186.

Scherf, K. S., Luna, B., Kimchi, R., Minshew, N., & Behrmann, M. (2008). Missing the big picture: impaired development of global shape processing in autism. *Autism research, 1*(2), 114-129.

Schiavetto, A., Cortese, F., & Alain, C. (1999). Global and local processing of musical sequences: an event-related brain potential study. *Neuroreport, 10*(12), 2467-2472.

Schlaug, G. (2001). The brain of musicians. A model for functional and structural adaptation. *Annals of the New York Academy of Sciences, 930*, 281-299.

Schlaug, G., Jancke, L., Huang, Y., & Steinmetz, H. (1995). In vivo evidence of structural brain asymmetry in musicians. *Science, 267*(5198), 699-701.

Schön, D., Gordon, R., Campagne, A., Magne, C., Astésano, C., Anton, J.-L., & Besson, M. (2010). Similar cerebral networks in language, music and song perception. *NeuroImage, 51*(1), 450-461.

Schulze, K., Gaab, N., & Schlaug, G. (2009). Perceiving pitch absolutely: comparing absolute and relative pitch possessors in a pitch memory task. *BMC neuroscience, 10*(1), 106-106.

Schuppert, M., Münte, T. F., Wieringa, B. M., & Altenmüller, E. (2000). Receptive amusia: Evidence for cross-hemispheric neural networks underlying music processing strategies. *Brain: A Journal of Neurology, 123*(3), 546-559.

Shah, A., & Frith, U. (1983). An islet of ability in autistic children: a research note. *Journal of child psychology and psychiatry, and allied disciplines, 24*(4), 613-620.

Shah, A., & Frith, U. (1993). Why do autistic individuals show superior performance on the block design task? *Journal of Child Psychology & Psychiatry, 34*(8), 1351-1364.

Shedden, J. M., & Reid, G. S. (2001). A variable mapping task produces symmetrical interference between global information and local information. *Perception & psychophysics, 63*(2), 241-252.

Shih, P., Keehn, B., Oram, J. K., Leyden, K. M., Keown, C. L., & Müller, R.-A. (2011). Functional Differentiation of Posterior Superior Temporal Sulcus in Autism: A Functional Connectivity Magnetic Resonance Imaging Study. *Biological psychiatry, 70*(3), 270-277.

Shinn-Cunningham, B. G. (2008). Object-based auditory and visual attention. *Trends in cognitive sciences, 12*(5), 182-186.

Shukla, D. K., Keehn, B., Smylie, D. M., & Müller, R.-A. (2011). Microstructural abnormalities of short-distance white matter fiber tracts in autism spectrum disorder. *Neuropsychologia, 49*(5), 1378-1382.

Siegel, D., Minshew, N., & Goldstein, G. (1996). Wechsler IQ profiles in diagnosis of high-functioning autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 26*(4), 389-406.

Siegel, J. A. (1974). Sensory and verbal coding strategies in subjects with absolute pitch. *The Journal of the Acoustical Society of America, 55*(1), 1-9.

Siegel, J. A., & Siegel, W. (1977). Absolute identification of notes and intervals by musicians. *Perception & Psychophysics, 21*(2), 143-152.

Simmons, D. R., Robertson, A. E., McKay, L. S., Toal, E., McAleer, P., & Pollick, F. E. (2009). Vision in autism spectrum disorders. *Vision research, 49*(22), 2705-2739.

Simner, J. (2010). Defining synaesthesia. *British journal of psychology*.

Simner, J., & Ludwig, V. U. (2011). The color of touch: A case of tactile-visual synaesthesia. *Neurocase*.

Simner, J., Mayo, N., & Spiller, M.-J. (2009). A foundation for savantism? Visuo-spatial synaesthetes present with cognitive benefits. *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior, 45*(10), 1246-1260.

Simner, J., Ward, J., Lanz, M., Jansari, A., Noonan, K., Glover, L., & Oakley, D. (2005). Non-random associations of graphemes to colours in synaesthetic and non-synaesthetic populations. *Cognitive Neuropsychology, 22*(8), 1069-1085.

Sloboda, J. A., Hermelin, B., & O'Connor, N. (1985). An exceptional musical memory. *Music Perception, 3*(2), 155-169.

Smilek, D., Callejas, A., Dixon, M. J., & Merikle, P. M. (2007). Ovals of time: Time-space associations in synaesthesia. *Consciousness and Cognition, 16*(2), 507-519.

Smith, N. A., & Trainor, L. J. (2011). Auditory Stream Segregation Improves Infants' Selective Attention to Target Tones Amid Distracters. *Infancy, 16*(6), 655-668.

Snyder, J. S., & Alain, C. (2007). Toward a neurophysiological theory of auditory stream segregation. *Psychological Bulletin, 133*(5), 780-799.

Soulières, I., Dawson, M., Samson, F., Barbeau, E. B., Sahyoun, C. P., Strangman, G. E., Zeffiro, T. A., & Mottron, L. (2009). Enhanced visual processing contributes to matrix reasoning in autism. *Human brain mapping, 30*(12), 4082-4107.

Soulières, I., Mottron, L., Giguere, G., & Larochelle, S. (2010). Category induction in autism: Slower, perhaps different, but certainly possible. *Quarterly journal of experimental psychology, 64*(2), 311-327.

Soulières, I., Mottron, L., Saumier, D., & Larochelle, S. (2007). Atypical categorical perception in autism: autonomy of discrimination? *Journal of autism and developmental disorders, 37*(3), 481-490.

Soulières, I., Zeffiro, T. A., Girard, M. L., & Mottron, L. (2011). Enhanced mental image mapping in autism. *Neuropsychologia, 49*(5), 848-857.

Sparks, B. F., Friedman, S. D., Shaw, D. W., Aylward, E. H., Echelard, D., Artru, A. A., Maravilla, K. R., Giedd, J. N., Munson, J., Dawson, G., & Dager, S. R. (2002). Brain structural abnormalities in young children with autism spectrum disorder. *Neurology, 59*(2), 184-192.

Spector, F., & Maurer, D. (2009). Synesthesia: A new approach to understanding the development of perception. *Developmental Psychology, 45*(1), 175-189.

Spillmann, L., & Dresp, B. (1995). Phenomena of illusory form: can we bridge the gap between levels of explanation? *Perception, 24*(11), 1333-1364.

Stalinski, S. M., & Schellenberg, E. G. (2010). Shifting perceptions: developmental changes in judgments of melodic similarity. *Developmental psychology, 46*(6), 1799-1803.

Stewart, L., Overath, T., Warren, J. D., Foxton, J. M., & Griffiths, T. D. (2008). fMRI evidence for a cortical hierarchy of pitch pattern processing. *PLoS ONE, 3*(1), e1470-e1470.

Tager-Flusberg, H. (1991). Semantic processing in the free recall of autistic children: Further evidence for a cognitive deficit. *British Journal of Developmental Psychology, 9*(3), 417-430.

Takeuchi, A. H., & Hulse, S. H. (1993). Absolute pitch. *Psychological Bulletin, 113*(2), 345-361.

Tecchio, F., Benassi, F., Zappasodi, F., Gialloreti, L. E., Palermo, M., Seri, S., & Rossini, P. M. (2003). Auditory sensory processing in autism: a magnetoencephalographic study. *Biological Psychiatry, 54*(6), 647-654.

Theusch, E., Basu, A., & Gitschier, J. (2009). Genome-wide study of families with absolute pitch reveals linkage to 8q24.21 and locus heterogeneity. *American journal of human genetics, 85*(1), 112-119.

Theusch, E., & Gitschier, J. (2011). Absolute pitch twin study and segregation analysis. *Twin research and human genetics: the official journal of the International Society for Twin Studies, 14*(2), 173-178.

Thomas, M. S. C., Annaz, D., Ansari, D., Scerif, G., Jarrold, C., & Karmiloff-Smith, A. (2009). Using developmental trajectories to understand developmental disorders. *Journal of speech, language, and hearing research, 52*(2), 336-358.

Thompson, P. M., Giedd, J. N., Woods, R. P., MacDonald, D., Evans, A. C., & Toga, A. W. (2000). Growth patterns in the developing brain detected by using continuum mechanical tensor maps. *Nature, 404*(6774), 190-193.

Tillmann, B., Bigand, E., & Pineau, M. (1998). Effects of global and local contexts on harmonic expectancy. *Music Perception, 16*(1), 99-117.

Tillmann, B., Janata, P., & Bharucha, J. J. (2003). Activation of the inferior frontal cortex in musical priming. *Cognitive Brain Research, 16*(2), 145-161.

Tomchek, S. D., & Dunn, W. (2007). Sensory Processing in Children With and Without Autism: A Comparative Study Using the Short Sensory Profile. *The American Journal of Occupational Therapy, 61*(2), 190-200.

Trainor, L. J., Desjardins, R. N., & Rockel, C. (1999). A comparison of contour and interval processing in musicians and nonmusicians using event-related potentials. *Australian Journal of Psychology, 51*(3), 147-153.

Trainor, L. J., McDonald, K. L., & Alain, C. (2002). Automatic and controlled processing of melodic contour and interval information measured by electrical brain activity. *Journal of Cognitive Neuroscience, 14*(3), 430-442.

Trainor, L. J., & Trehub, S. E. (1992). A Comparison of Infants' and Adults' Sensitivity to Western Musical Structure. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 18*(2), 394-402.

Treffert, D. A. (2009). The savant syndrome: an extraordinary condition. A synopsis: past, present, future. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences, 364*(1522), 1351-1357.

Trehub, S. E. (2001). Musical predispositions in infancy. *Annals of the New York Academy of Sciences, 930*, 1-16.

Trehub, S. E. (2003). Toward a developmental psychology of music. *Annals of the New York Academy of Sciences, 999*, 402-413.

Trehub, S. E., Bull, D., & Thorpe, L. A. (1984). Infants' Perception of Melodies: The Role of Melodic Contour. *Child Development, 55*(3), 821-830.

Trehub, S. E., Thorpe, L. A., & Morrongiello, B. A. (1987). Organizational processes in infants'perception of auditory patterns. *Child Development, 58*(3), 741-749.

Vanechkina, I. L. (2001). On K.Saragev's 'Color Hearing'. *Leonardo, 34*(4), 355-356.

Vangenot, S. (2000). L'oreille absolue: une oreille plus fine? *Musicae Scientiae, 4*(1), 3-30.

Vinter, A., Puspitawati, I., & Witt, A. (2010). Children's spatial analysis of hierarchical patterns: Construction and perception. *Developmental Psychology, 6*(46), 1621-1631.

Vissers, M. E., Cohen, M. X., & Geurts, H. M. (2012). Brain connectivity and high functioning autism: A promising path of research that needs refined models, methodological convergence, and stronger behavioral links. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 36*(1), 604-625.

Walter, E., & Dassonville, P. (2011). Activation in a Frontoparietal Cortical Network Underlies Individual Differences in the Performance of an Embedded Figures Task. *PLoS ONE, 6*(7), e20742.

Wan, C., Bazen, L., Baars, R., Libenson, A., Zipse, L., Zuk, J., Norton, A., & Schlaug, G. (2011). Auditory-Motor Mapping Training as an Intervention to Facilitate Speech Output in Non-Verbal Children with Autism: A Proof of Concept Study. *PLoS ONE, 6*(9), e25505.

Wan, C., Demaine, K., Zipse, L., Norton, A., & Schlaug, G. (2010). From music making to speaking: Engaging the mirror neuron system in, autism. *Brain research bulletin, 82*(3-4), 161-168.

Wan, C., & Schlaug, G. (2010). Neural pathways for language in autism: the potential for music-based treatments. *Future neurology, 5*(6), 797-805.

Wang, L., Mottron, L., Peng, D., Berthiaume, C., & Dawson, M. (2007). Local bias and local-to-global interference without global deficit: a robust finding in autism under various conditions of attention, exposure time, and visual angle. *Cognitive Neuropsychology, 24*(5), 550-574.

Ward, J., Huckstep, B., & Tsakanikos, E. (2006). Sound-Colour Synaesthesia: to What Extent Does it Use Cross-Modal Mechanisms Common to us All? *Cortex, 42*(2), 264-280.

Wass, S. (2011). Distortions and disconnections: disrupted brain connectivity in autism. *Brain and cognition, 75*(1), 18-28.

Wayman, J. W., Frisina, R. D., Walton, J. P., Hantz, E. C., & Crummer, G. C. (1992). Effects of musical training and absolute pitch ability on event-related activity in response to sine tones. *Journal of the Acoustical Society of America, 91*(6), 3527-3531.

Weiss, P. H., & Fink, G. R. (2009). Grapheme-colour synaesthetes show increased grey matter volumes of parietal and fusiform cortex. *Brain, 132*(Pt 1), 65-70.

White, S. J., & Saldaña, D. (2011). Performance of Children with Autism on the Embedded Figures Test: A Closer Look at a Popular Task. *Journal of autism and developmental disorders, 41*(11), 1565-1572.

Wilson, S. J., Lusher, D., Wan, C. Y., Dudgeon, P., & Reutens, D. C. (2009). The neurocognitive components of pitch processing: insights from absolute pitch. *Cerebral cortex, 19*(3), 724-732.

Witkin, H., Oltman, P., Raskin, E., & Karp, S. (1971). *The Embedded Figure Test*: Consulting Psychologists Press.

Young, R. L., & Nettelbeck, T. (1995). The abilities of a musical savant and his family. *Journal of autism and developmental disorders, 25*(3), 231-248.

Zatorre, R., & Beckett, C. (1989). Multiple coding strategies in the retention of musical tones by possessors of absolute pitch. *Memory & cognition, 17*(5), 582-589.

Zatorre, R., Belin, P., & Penhune, V. (2002). Structure and function of auditory cortex: music and speech. *Trends in cognitive sciences, 6*(1), 37-46.

Zatorre, R., & Binder, J. R. (2000). 12 - Functional and Structural Imaging of the Human Auditory System. In W. T. Arthur & C. M. John (Eds.), *Brain Mapping*: *The Systems* (pp. 365-402). San Diego: Academic Press.

Zatorre, R., Halpern, A. R., & Bouffard, M. (2009). Mental Reversal of Imagined Melodies: A Role for the Posterior Parietal Cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience, 22*(4), 775-789.

Zatorre, R., Perry, D. W., Beckett, C. A., Westbury, C. F., & Evans, A. C. (1998). Functional anatomy of musical processing in listeners with absolute pitch and relative pitch. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 95*(6), 3172-3177.

Index des figures

Figure 1. Photo de Stephen Wiltshire, artiste autiste savant, reproduisant de mémoire la ville de Tokyo. © Stephen Wiltshire..... 8

Figure 2. Effets potentiels de la connectivité neuronale sur l'activation cérébrale. Les images cérébrales en bas, issues d'une tâche d'attention visuelle, montrent les patterns distribués de l'activation fonctionnelle cérébrale d'une personne typique (gauche) et l'activation localisée anormalement intense d'une personne autiste (droite), un pattern d'activation qui pourrait refléter une connectivité atypique du réseau neuronal. En haut à gauche, une combinaison d'une forte connectivité locale délimitée dans des groupes d'unités neuronales (en rose et en bleu) et une connectivité longue distance sélective entre les groupes locaux (en violet) est représentée. Cette combinaison constitue une structure dans laquelle l'information peut être facilement propagée. Les entrées sensorielles (flèches présentées par paires) évoquent des représentations qui peuvent être facilement distinguées du bruit (flèches simples) et peuvent être liées entre les régions, produisant ainsi une connectivité élevée. Dans le réseau de droite, les sous régions fortement connectées ne sont pas délimitées et différenciées de façon appropriée et les connexions longues distances significatives échouent à se développer (tiré de Belmonte et al., 2004). 12

Figure 3. Exemple d'histoires utilisées pour tester la présence de la théorie de l'esprit chez des enfants (repris de Frith, 1996). Ici, la réponse typiquement donnée par une personne autiste à la question « où Sally ira-t-elle chercher sa balle ? », serait « dans la boîte ». En effet, selon l'hypothèse d'un déficit de la théorie de l'esprit, elle n'arriverait pas à percevoir que, Sally étant sortie, elle ne peut pas savoir qu'Anne a changé sa balle de place. 15

Figure 4. Exemple d'items pour A) le sous test des cubes du Wechsler, B) Test des matrices progressives de Raven, C) Test des figures emboitées. 17

Figure 5. Stimuli utilisés dans la tâche de Caron et al. (2006). A) Stimuli manipulant la force de cohérence perceptive, présentés soit de façon segmenté soit non segmenté. La tâche est de reproduire le dessin avec les six cubes. B) Stimuli utilisés pour tester la construction de la représentation globale. La tâche est de déterminer le plus rapidement possible laquelle des quatre figures segmentées correspond à la figure non segmentée (tiré de Caron et al., 2006). 21

Figure 6. Stimuli utilisés dans l'étude de catégorisation Soulières et al. (2007), la tâche étant de comparer un stimulus avec celui adjacent, le stimulus 1 et le 2, le stimulus 2 et 3 (tiré de Soulières et al., 2007). 23

Figure 7. Figures illustrant les principales lois de l'organisation perceptive de la Gestalt. A - loi de la proximité : les éléments très proches sont perçus comme appartenant à la même forme. B - loi de la similarité : les éléments semblables ont tendance à se regrouper. C- loi de délimitation : les lignes délimitant une surface seront, toutes choses égales par ailleurs, plus facilement ressenties comme totalité que celles qui ne se joignent pas. D -loi de continuité : des éléments orientés dans la même direction tendent à s'organiser en une forme. Ainsi la figure est interprétée comme résultant de la superposition des deux éléments de la figure en bas à

gauche que ceux de la figure en bas à droite. E - loi de bonne forme, ou de continuité : les parties d'une figure qui constituent une bonne forme (simplicité d'une figure) constituent plus facilement des unités. Ainsi nous percevons la figure composée d'un rectangle et d'une ellipse. Ces formes donnent une impression d'unité qu'elles n'auraient pas si nous percevions 3 figures. F - La loi de symétrie : les formes qui présentent un axe de symétrie sont de bonnes formes, qui vont s'imposer aisément. Même si les deux figures présentent une ligne médiane, la figure de gauche est perçue comme une seule forme et celle de droite comme deux formes distinctes.....26
Figure 8. Exemple de lettres hiérarchisées utilisées par Navon (1977).....29
Figure 9. Modèle de système de reconnaissance musicale (SRM) développé par Peretz (2003). Nous pouvons observer que ce modèle propose une vision modulaire du traitement musical, où les traitements auditif verbal et non verbal sont clairement distincts.....33
Figure 10. Illustration d'une mélodie (A) modifiée soit au niveau de l'intervalle (B) soit au niveau du contour mélodique (C), soit transposée à la quarte supérieure (D)..34
Figure 11. Exemple de consigne donnée visuellement aux participants.....81
Figure 12. Exemple de mélodies utilisées pour la tâche de discrimination mélodique. A) Mélodie de référence B) Mélodie modifiée au niveau du contour C) mélodie modifiée au niveau de l'intervalle D) mélodie transposée E) mélodie transposée et modifiée. Les flèches représentent le contour de la mélodie. 87
Figure 13. *d'* moyen à la tâche de discrimination mélodique pour les groupes TSA (enfant et adulte) et contrôles (enfant et adulte) en fonction des conditions contour et intervalle. Les barres représentent les erreurs standards.....90
Figure 14. *d'* moyen du groupe contrôle et du groupe TSA en fonction de l'âge chronologique pour les conditions contour et intervalle.....93
Figure 15. *d'* moyen du groupe contrôle et du groupe TSA en fonction de l'âge (adulte et enfant) à tâche de discrimination de mélodies transposées. Les barres représentent les erreurs standards.....94
Figure 16. Critère de décision à la tâche de discrimination de mélodies transposées pour le groupe TSA et le groupe contrôle en fonction de l'âge chronologique (en mois).96
Figure 17. Exemples d'accords utilisés dans la tâche. A) accord de référence, B) accord sans la quinte, C) accord sans la tierce.....99
Figure 18. *d'* moyen à la tâche de discrimination d'accords pour le groupe contrôle et le groupe TSA dans les conditions quinte et tierce. Les barres représentent les erreurs standards. 100
Figure 19. *d' moyen* à la tâche de discrimination d'accords des groupe contrôle et TSA aux conditions quinte et tierce en fonction de l'âge chronologique (en mois). 103
Figure 20. *d'* moyens à la tâche de discrimination de fréquences observés pour les groupes contrôle et TSA en fonction des 4 conditions expérimentales : 1, 2, 3 et 4%. Les barres représentent les erreurs standards.....112
Figure 21. Performances moyennes (d') à la tâche de discrimination de fréquences pour les groupes enfants TSA et contrôles en fonction de l'âge chronologique (en mois). 113

Figure 22. *d'* moyen à la tâche de discrimination de durée pour les groupes contrôle et TSA de durée en fonction des 5 conditions expérimentale : 8ms, 16ms, 24ms, 32ms, 40ms. Les barres représentent les erreurs standards. 115
Figure 23. Performance moyenne (d') à la tâche de discrimination de durée pour les groupes enfants TSA et contrôle en fonction de l'âge chronologique (en mois)....116
Figure 24. *d'* moyen à la tâche de discrimination d'intensité des groupes contrôle et du groupe TSA en fonction des conditions exéprimentales : 1dB, 2dB, 3dB, 4dB et 5dB. Les barres représentent les erreurs standards. 118
Figure 25. Performance moyenne (d') à la tâche de discrimination d'intensité pour les groupes enfant TSA et contrôle en fonction de l'âge chronologique (en mois). 119
Figure 26. Corrélations entre les différentes tâches de discrimination auditive pour le groupe TSA. 121
Figure 27. Corrélations entre les différentes tâches de discrimination auditive pour le groupe contrôle. 122
Figure 28. Régressions linéaires entre les performances moyennes aux tâches de discrimination de fréquences et mélodiques, de transposition mélodique et de discrimination d'accords pour le groupe TSA. 123
Figure 29. Régression linéaire entre les performances moyennes à la tâche de discrimination de fréquences et celles observées à la tâche de discrimination mélodique pour l'ensemble du groupe contrôle.....124
Figure 30. Régressions linéaires entre les performances à la tâche de discrimination de fréquences et celles observées à la tâche de discrimination d'accords et à la tâche de discrimination de mélodies transposées pour les adultes contrôles. 125
Figure 31. Illustration des 3 conditions « différentes » possibles. L'image de référence (A) est présentée pendant 200 ms puis la seconde image (B) qui peut être modifiée soit au niveau local, soit au niveau global soit au niveau global et local est présentée pendant 200 ms.....131
Figure 32. TR additionnels à la tâche de discrimination de formes visuelles pour le groupe contrôle et le groupe TSA en fonction des conditions GLdiff, Ldiff, Gdiff. Les barres représentent les erreurs standards.....134
Figure 33. TR additionnel pour le groupe contrôle et le groupe TSA aux conditions Gdiff et Ldiff en fonction de l'âge chronologique (en mois).....136
Figure 34. Corrélations entre les conditions Gdiff/Contour et entre Ldiff/intervalle pour le groupe TSA. 137
Figure 35. Corrélations entre les conditions Gdiff/Contour et entre Ldiff/intervalle pour le groupe contrôle. 138
Figure 36. Stimuli congruents (A) et non congruents (B) en vision et en audition.....142
Figure 37. Temps de réponse moyen et pourcentage de bonnes réponses en vision et en audition pour les stimuli congruent et non congruent pour les conditions globales et locales. Les barres représentent les erreurs standards et * = $p < .01$.....145
Figure 38. Corrélations entre les modalités visuelle et auditive pour : (A) l'effet de précédence globale ; (B) l'effet d'interaction et (C) l'effet d'interférence. Les corrélations sont présentées entre les temps de réponses en vision et en audition (à gauche) et les TR en vision et le pourcentage de bonnes réponses en audition (à droite). * = $p < .05$.....148

Figure 39. Illustration des conditions avant (i.e., la mélodie cible est présentée avant la mixture mélodique) et après (i.e., la mélodie cible est présentée après la mixture mélodique) de l'étude de Bey & McAdams (2003). Quand la mélodie est présentée seule on parlera de mélodie de référence et quand cette mélodie (identique ou modifiée) est présentée avec les sons distracteurs on parlera de mélodie cible…157
Figure 40. Exemples de séquences utilisés dans la tâche de ségrégation. A) Mélodie de référence, B) Mélodie cible différente, C) Mélodie cible + séquence distratrice (i.e., mixture auditive) condition 0dt, D) Mélode cible+ séquence distractrice (i.e., mixture auditive) condition 6dt, E) Mélode cible + séquence distractrice (i.e., mixture auditive) condition 12dt, F) Mélodie cible + séquence distratrice (i.e., mixture auditive) condition 24dt.....160
Figure 41. *d'* moyen à la tâche de ségrégation de mélodies pour le groupe contrôle et du groupe TSA en fonction des 4 conditions (0dt, 6dt, 12dt, 24dt). Les barres représentent les erreurs standards.....162
Figure 42. Critère de décision moyen à la tâche de ségrégation de mélodies pour le groupe contrôle et le groupe TSA aux conditions expérimentales : 0dt, 6dt, 12dt, et 24dt. Les barres représentent les erreurs standards. 164
Figure 43. *d'* moyen à la tâche de ségrégation de mélodies en fonction de l'âge chronologique pour le groupe TSA et le groupe contrôle 165
Figure 44. *d'* moyen en fonction du contraste spécifique (−3 0dt, 6dt, 12dt, 24dt) à la tâche de ségrégation de mélodies en fonction de l'âge chronologique pour le groupe TSA et le groupe contrôle. 166
Figure 45. Arbre généalogique du côté du père de FC (carré noir). Les carrés grisés représentent les personnes possédant une forme de synesthésie (24 personnes sur 31 ont répondu aux questionnaires).....181
Figure 46. Représentation des jours de la semaine dans l'espace dessinée par un cousin de FC.....182

Index des tableaux

Tableau 1. Caractéristiques des participants TSA adultes et enfants et des participants contrôles adultes aux Etudes 1, 2, 3, et 5.....79
Tableau 2. Caractéristiques des enfants contrôles aux différentes tâches. * = les résultats de ces tâches ne seront pas présentés dans le cadre de ce travail doctoral. 80
Tableau 3. Présentation des quatre types de réponses possibles selon la théorie de la détection du signal.....82
Tableau 4. *d'* et critère moyen à la tâche de discrimination mélodique pour les groupes TSA et contrôles en fonction des conditions contour et intervalle. 91
Tableau 5. *d'* et critère moyen la tâche de discrimination de mélodies transposées pour les groupes TSA et contrôles. 95
Tableau 6. *d'* et critères moyens à la tâche de discrimination d'accords pour les groupes TSA et contrôles en fonction des conditions quinte et tierce. 101
Tableau 7. Propriétés physiques des stimuli utilisés pour les tâches de discrimination auditive. 109
Tableau 8. Résultats (*d'* et critère moyen) obtenus pour la tâche de discrimination de fréquences pour les groupes TSA et contrôles en fonction de l'âge et des conditions 1%, 2%, 3% et 4%. 111
Tableau 9. *d'* et critère moyen obtenus à la tâche de discrimination de durée. Les résultats sont présentés pour les groupes TSA et contrôles en fonction de l'âge aux conditions 8, 16, 24, 32, 40 ms.....114
Tableau 10. *d'* et critères moyens pour les groupes TSA et contrôles en fonction de l'âge aux conditions 1, 2, 3, 4, dB à la tâche de discrimination d'intensité. 117
Tableau 11. Temps de réponse additionnel à la tâche de discrimination de formes visuelles, dans les conditions Local-Global différent, Local différent et Global différent pour les groupes TSA et contrôles (enfants et adultes). 133
Tableau 12. *d'* moyen et critère de décision moyen pour les quatre conditions de la tâche de ségrégation (0, 6, 12, et 24 dt) pour les groupes TSA et contrôle (enfants et adultes). 161
Tableau 13. Performances observées chez FC aux différentes sous test de la WAIS. 173
Tableau 14. Performance de FC au test des figures emboitées, aux matrices de Raven, au test de mémoire spatiale ainsi qu'au test d'estimation et de calcul mental.....174
Tableau 15. Performances et valeurs du *t* modifié de FC et de AP comparé au groupe contrôle et au groupe TSA dans les tâches de discrimination mélodique, d'accord et de ségrégation. Les valeurs en gras suivies d'un astérisque (*) indiquent une performance significativement différente de celle du groupe contrôle et/ou du groupe TSA. 177
Tableau 16. Performances et valeurs du *t* modifié de FC et de AP comparé au groupe contrôle et au groupe TSA sur les tâches de discrimination de caractéristiques acoustiques (fréquence, durée, intensité. Les valeurs en gras suivies d'un astérisque (*) indiquent une performance significativement différente de celle du groupe contrôle et/ou du groupe TSA. 178

Tableau 17. Performance et valeur du *t* modifié de FC et de AP comparé au groupe contrôle et au groupe TSA dans la tâche de ségrégation non transposée. Les valeurs en gras suivi d'un astérisque (*) indiquent une performance significativement différente de celle du groupe contrôle et/ou du groupe TSA....179
Tableau 18. Performances et valeurs du *t* modifié de FC et de AP comparé au groupe contrôle dans la tâche de ségrégation transposée. Les valeurs en gras suivi d'un astérisque (*) indiquent une performance significativement différente de celle du groupe contrôle. 180

Annexes

I. Valorisation de la thèse

1. Publications

Bouvet, L., Rousset, S., Valdois, S., & Donnadieu, S. (2011). Global precedence effect in audition and vision: Evidence for similar cognitive styles across modalities. *Acta Psychologica, 138*(2), 329-335

Mottron, L., Bonnel, A., **Bouvet, L.,** Samson, F., Burack, J., & Heaton, P. (soumis). Linking absolute pitch, savant syndrome and synesthesia to autism; The case for enhanced veridical perceptual mapping.

2. Communications orales

Bouvet, L., Valdois, S., Donnadieu, S. Autisme : cognition musicale et perception auditive. *Colloque international sensorialité et handicap : musique et plasticité cérébrale.* Paris, 18-19 Novembre 2011

Bouvet, L., Valdois, S., Donnadieu, S. Musical and auditory processing in autism. BRAMS, Montréal. Août 2011

Bouvet, L. Quand les arbres gênent la forêt : Mise en évidence d'un biais local amodal dans l'autisme. *Journées sur l'examen psychologie et les prises en charge de l'enfant et de l'adolescent.* Chambéry, 9-11 Septembre 2010.

3. Communications affichées

Bouvet, L., Donnadieu, S., Valdois, S. Atypical development of musical processing in autism. *Neurosciences and music IV.* Edinburgh (Ecosse), Juin 2011.

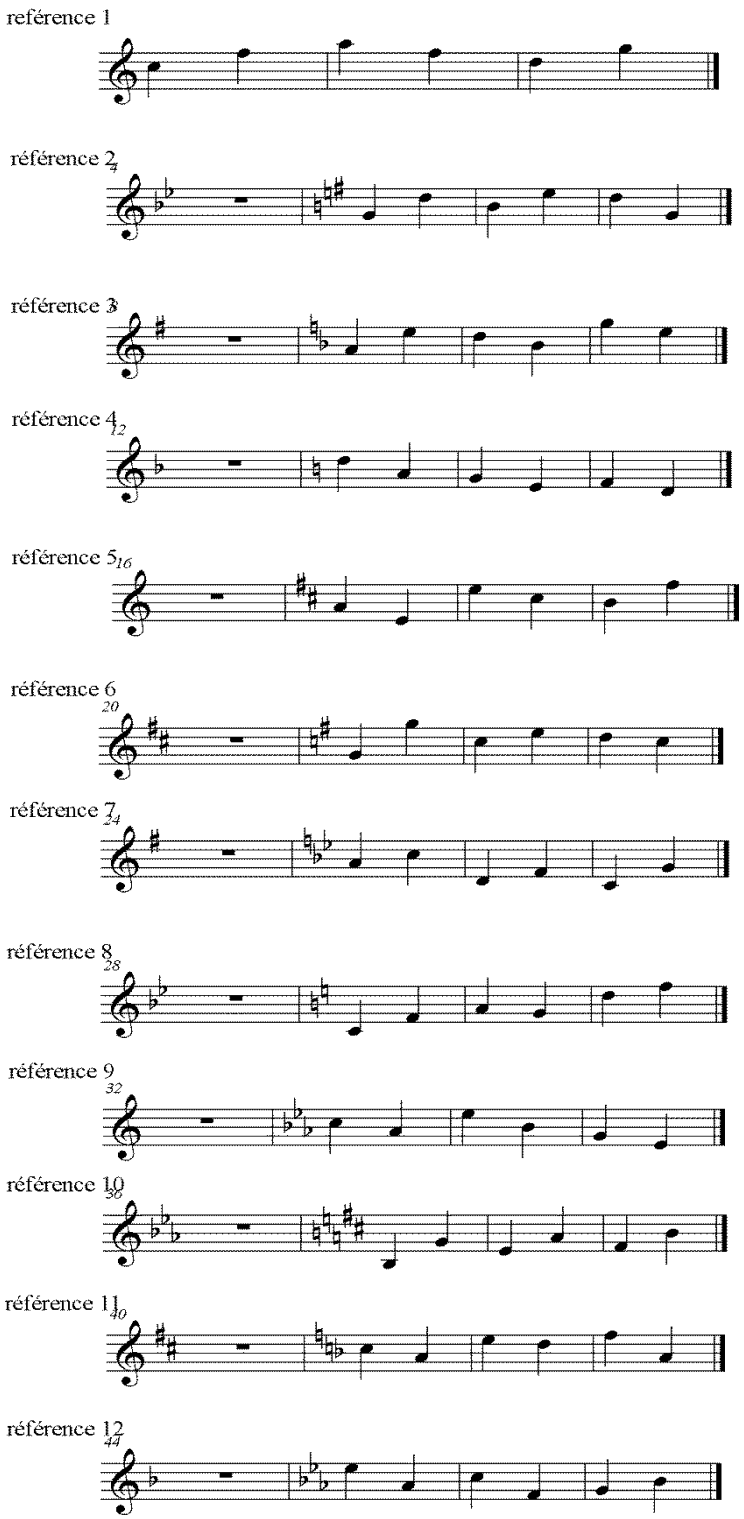
Bouvet, L., Donnadieu, S., Mottron, L., Valdois, S. Stream segregation in autism: An auditory embedded figures task? *The International Meeting For Autism Research*, San Diego (USA), Mai 2011. **Student travel award**

Bouvet, L., Valdois., S., Donnadieu, S. Le concept de traitement global et local dans la musique. *Journées des jeunes chercheurs en audition, en acoustique musicale et en signal audio*, Marseille, Novembre 2009.

Bouvet, L., Donnadieu, S., Rousset, S. Local bias in autism explained by auditory hypersensitivity: a case study of an individual with absolute pitch. *Innovative research in Autism*, Tours, Avril 2009.

II. Tâche de discrimination mélodique (Etude 1a et 1b) : stimuli

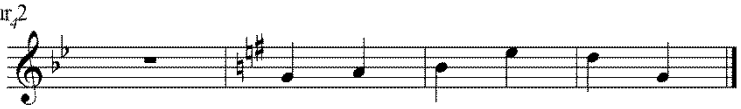
Mélodies de référence



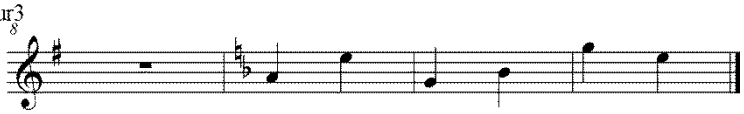
Mélodies modifiées au niveau du contour

Contour 1

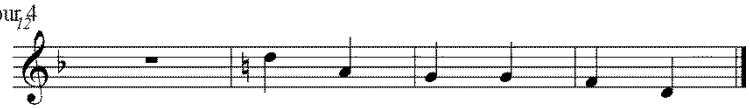
Contour 2



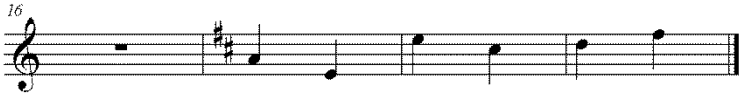
Contour 3



Contour 4

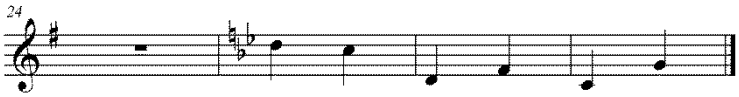


Contour 5

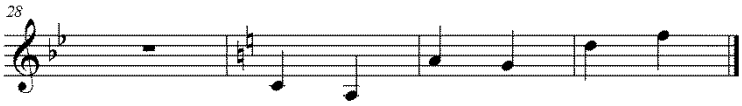


Contour 6

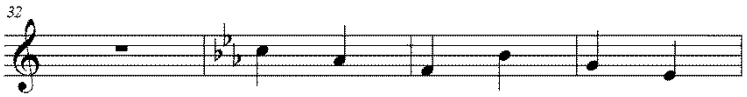
Contour 7



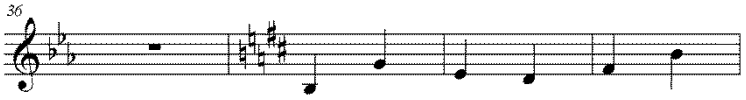
Contour 8



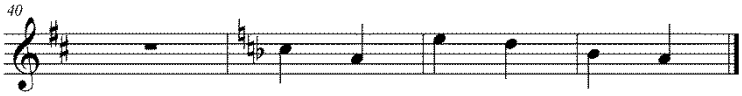
Contour 9



Contour 10



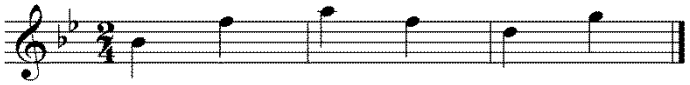
Contour 11



Contour 12

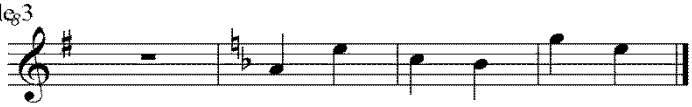
Mélodies modifiées au niveau de l'intervalle

intervalle 1

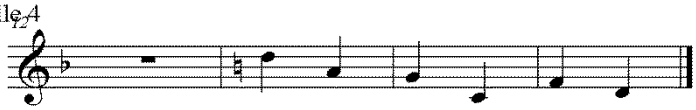


intervalle 2

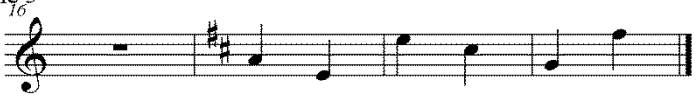
intervalle 3



intervalle 4

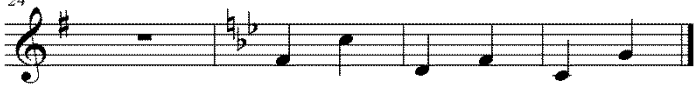


intervalle 5

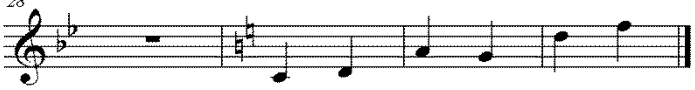


intervalle 6

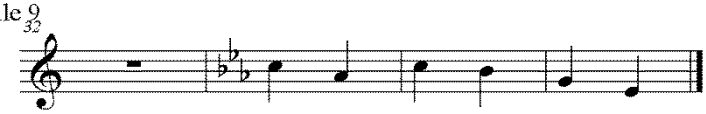
intervalle 7



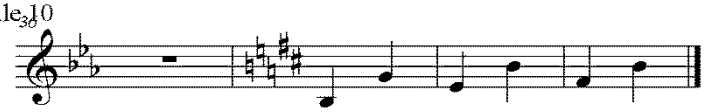
intervalle 8



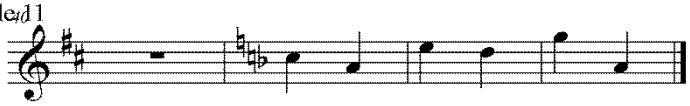
intervalle 9



intervalle 10



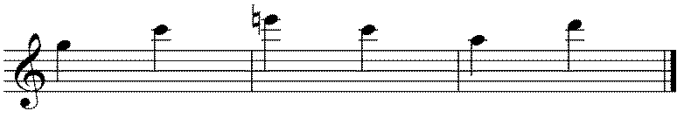
intervalle 11



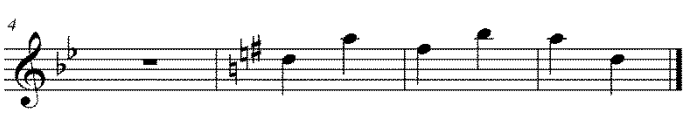
intervalle 12

Mélodies transposées

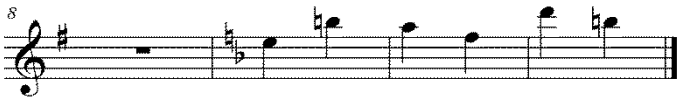
transpo 1



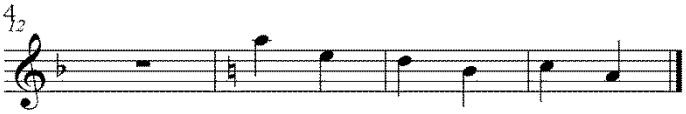
transpo 2



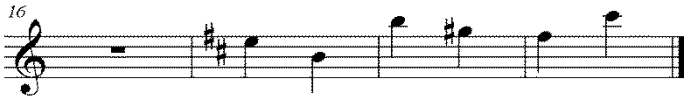
transpo 3



référence 4

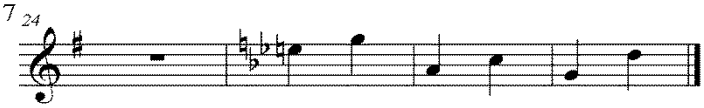


transpo 5

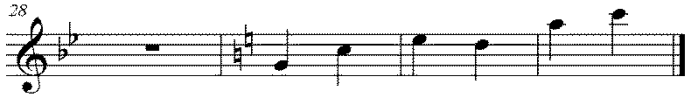


transpo 6

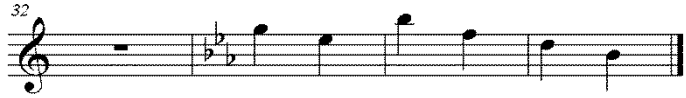
transpo 7



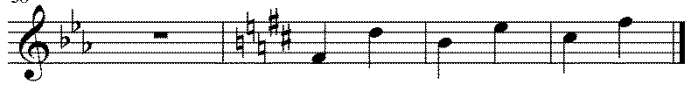
transpo 8



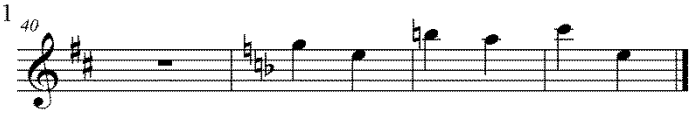
transpo 9



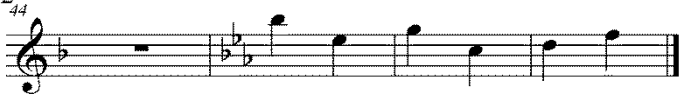
transpo 10



transpo 11

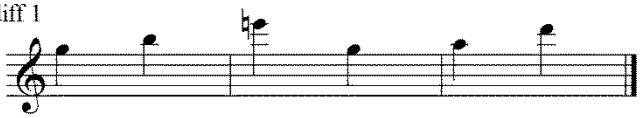


transpo 12

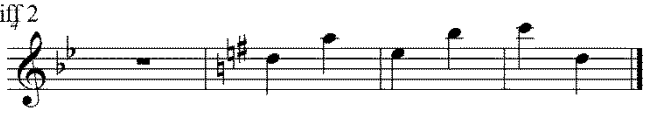


Mélodies transposées modifiées

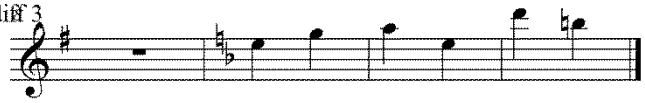
transpo diff 1



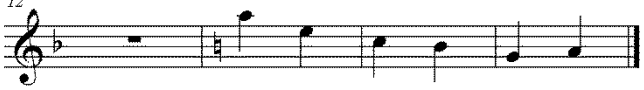
transpo diff 2



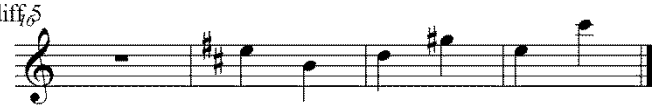
transpo diff 3



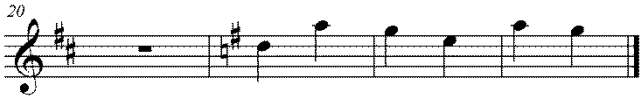
transpo diff 4



transpo diff 5

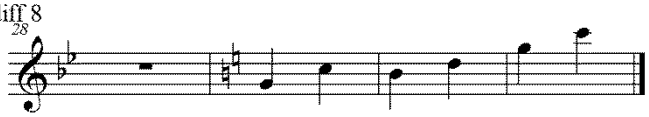


transpo diff 6

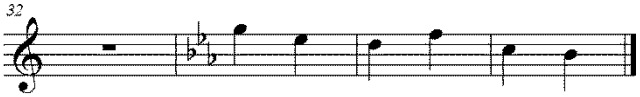


transpo diff 7

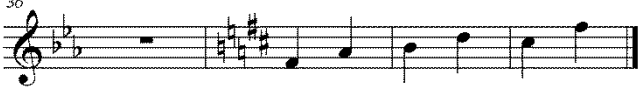
transpo diff 8



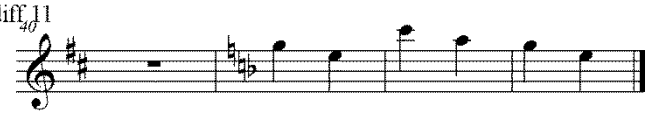
transpo diff 9



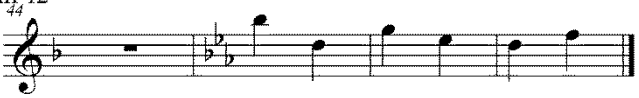
transpo diff 10



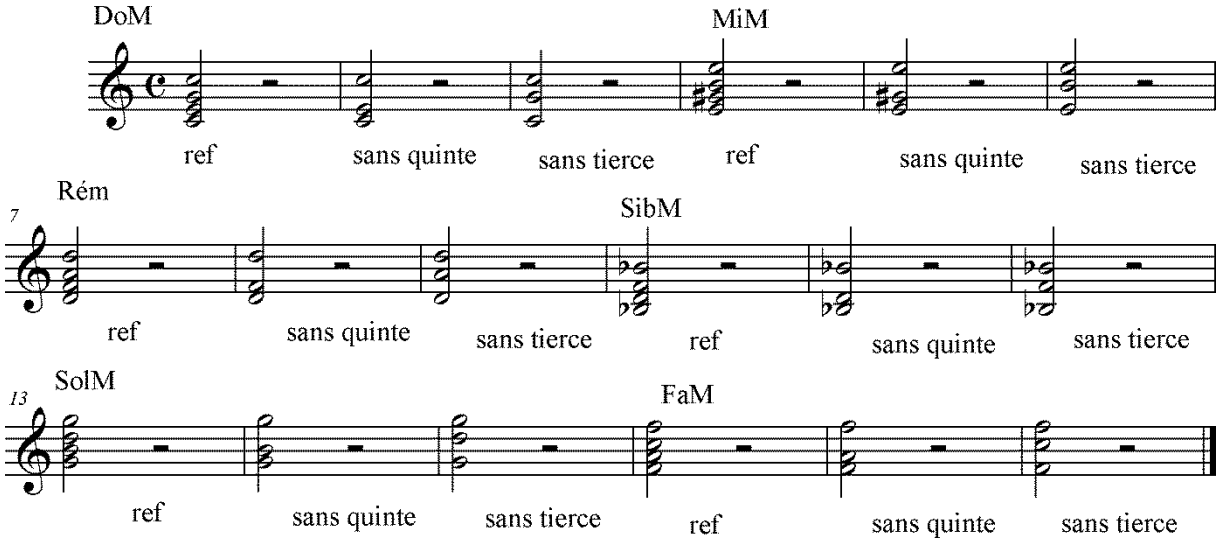
transpo diff 11



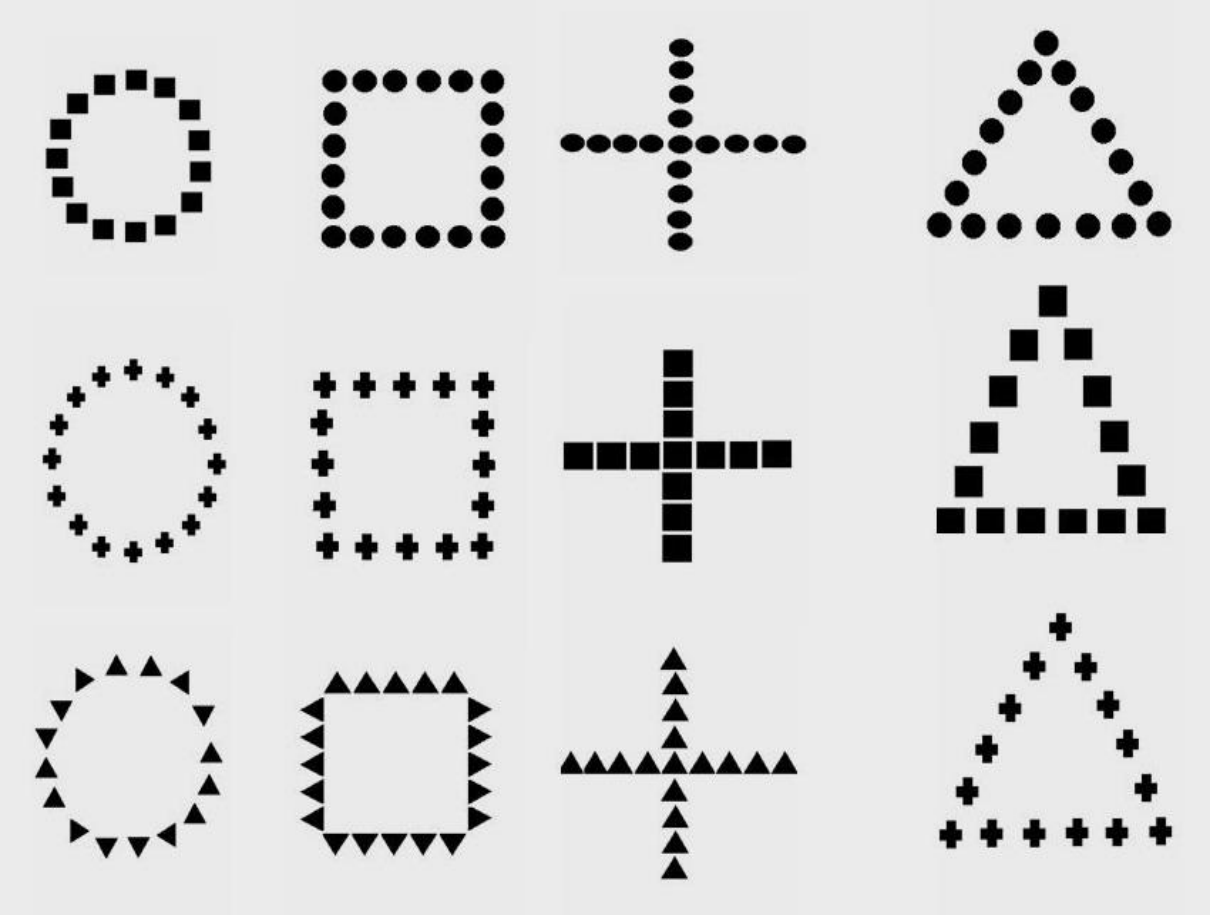
transpo diff 12



II. Tâche de discrimination d'accords (Etude 1c) : stimuli



III. Tâche de discrimination de formes visuelles (Etude3) : stimuli



IV. Tâche de ségrégation de flux mélodiques (Etude 5) : stimuli

Abréviations :

Ref : mélodie de référence

Ref transpo : mélodie de référence transposée

Diff : mélodie de référence modifiée

Diff transpo : mélodie de référence modifiée transposée

Refmix0DT : mélodie référence + mélodie distractrice condition 0DT

Refmix6DT : mélodie référence + mélodie distractrice condition 6DT

Refmix12DT : mélodie référence+ mélodie distractrice condition 12DT

Refmix24DT : mélodie référence + mélodie distractrice condition 24DT

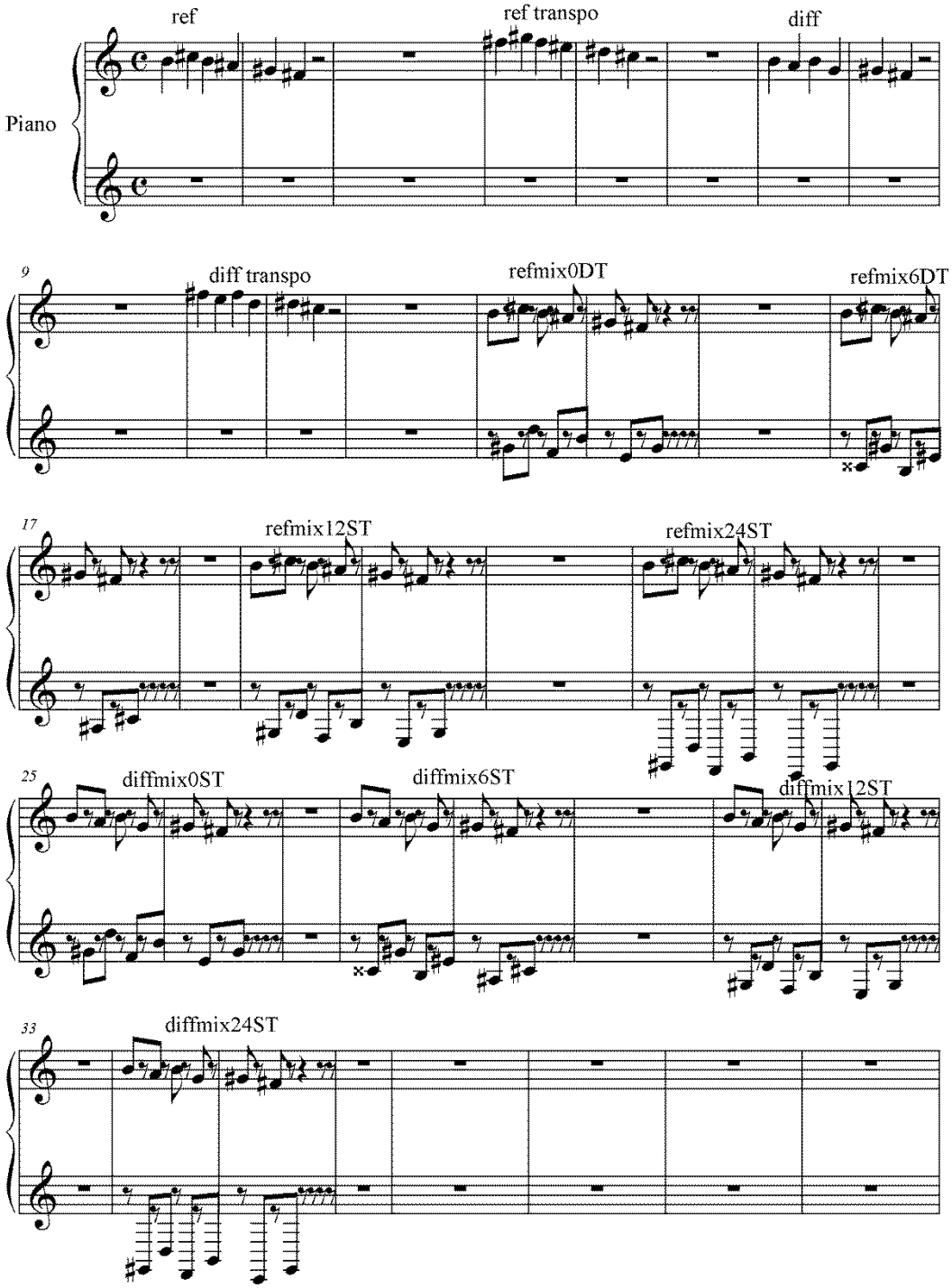
Diffmix0DT : mélodie différente + mélodie distractrice condition 0DT

Diffmix6DT : mélodie différente + mélodie distractrice condition 6DT

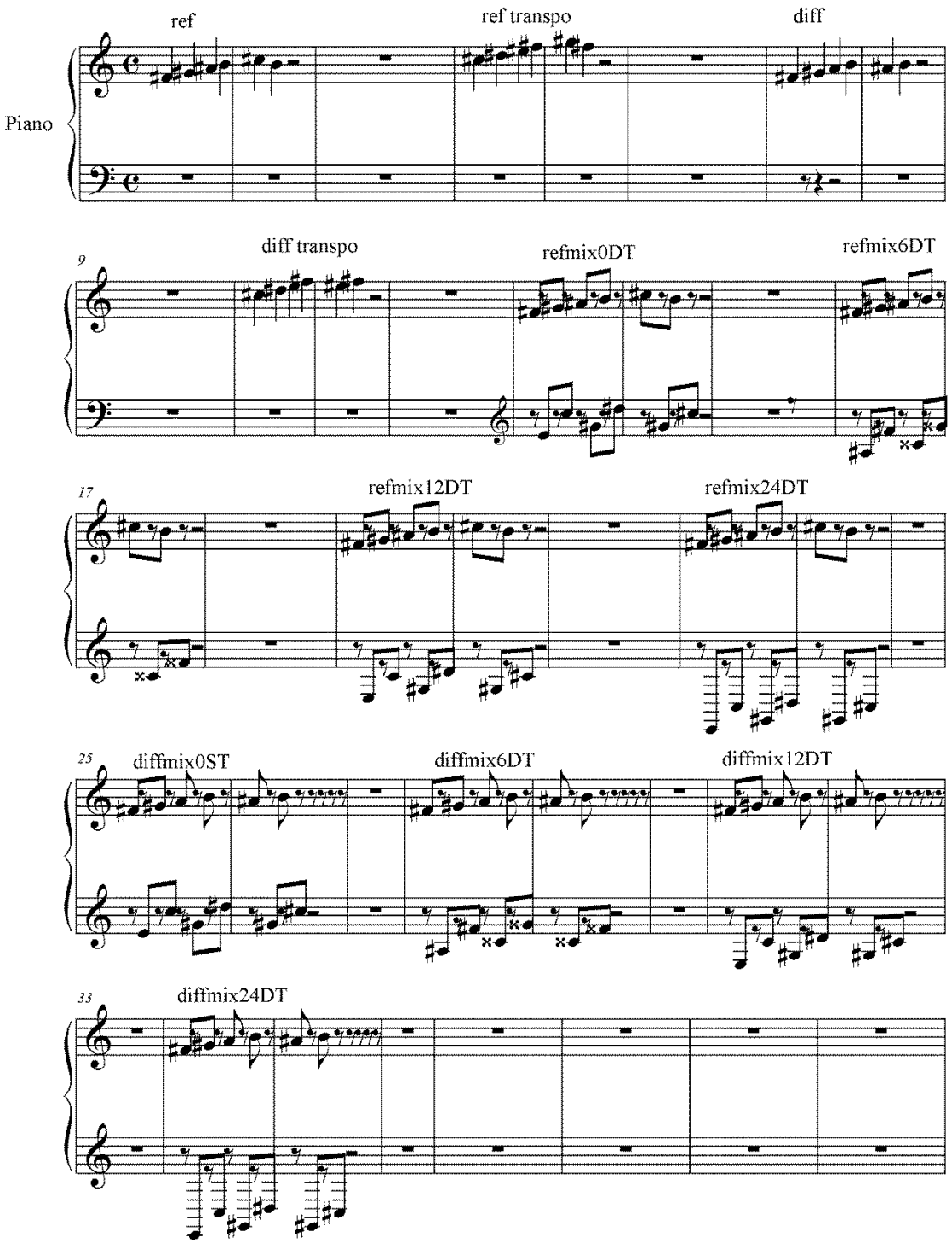
Diffmix12DT : mélodie différente + mélodie distractrice condition 12DT

Diffmix24DT : mélodie différente + mélodie distractrice condition 24DT

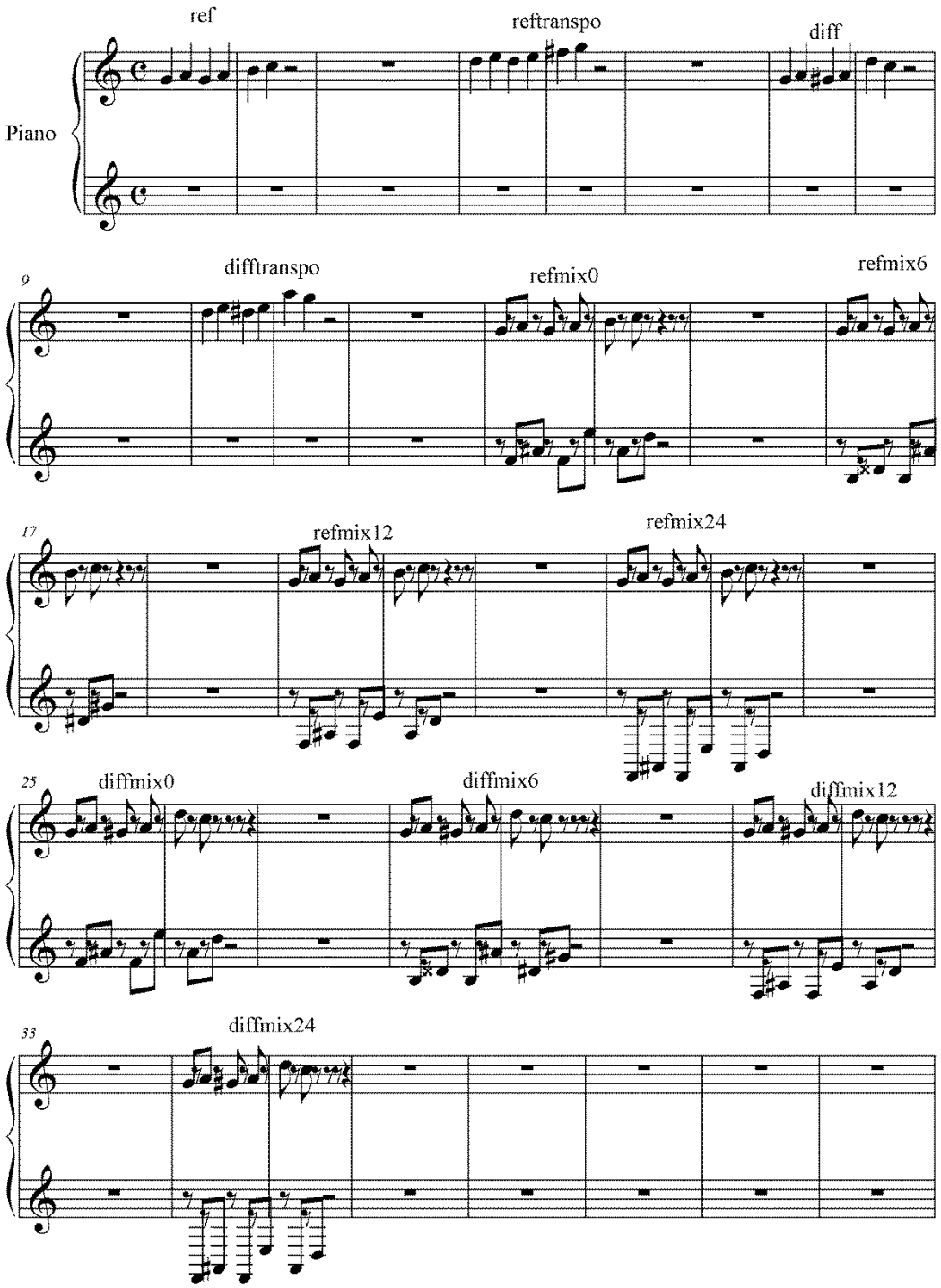
Mélodie 1


ref
ref transpo
diff
Piano
9
diff transpo
refmix0DT
refmix6DT
17
refmix12ST
refmix24ST
25
diffmix0ST
diffmix6ST
diffmix12ST
33
diffmix24ST

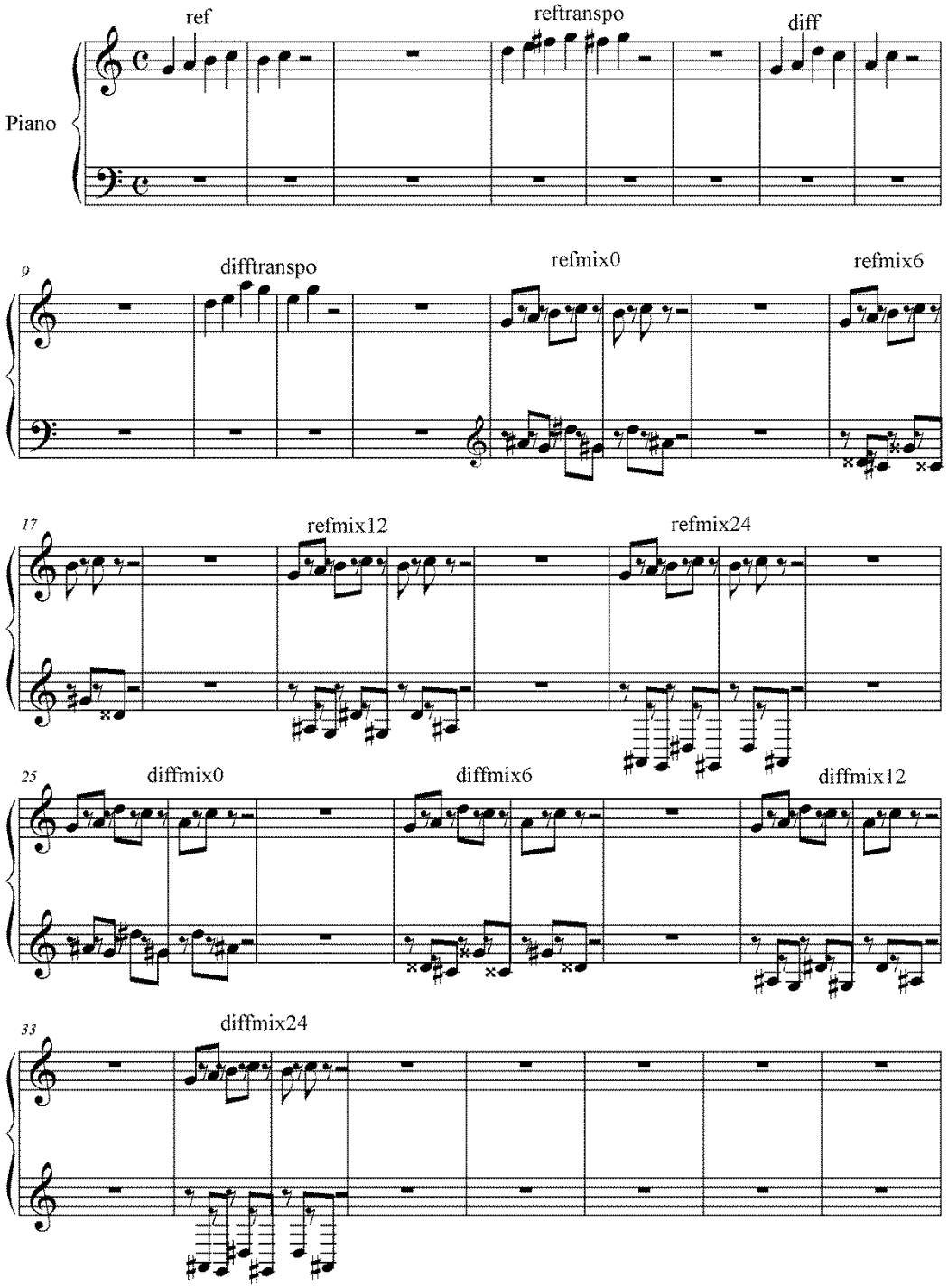
Mélodie 2


ref
ref transpo
diff
Piano
9
diff transpo
refmix0DT
refmix6DT
17
refmix12DT
refmix24DT
25
diffmix0ST
diffmix6DT
diffmix12DT
33
diffmix24DT

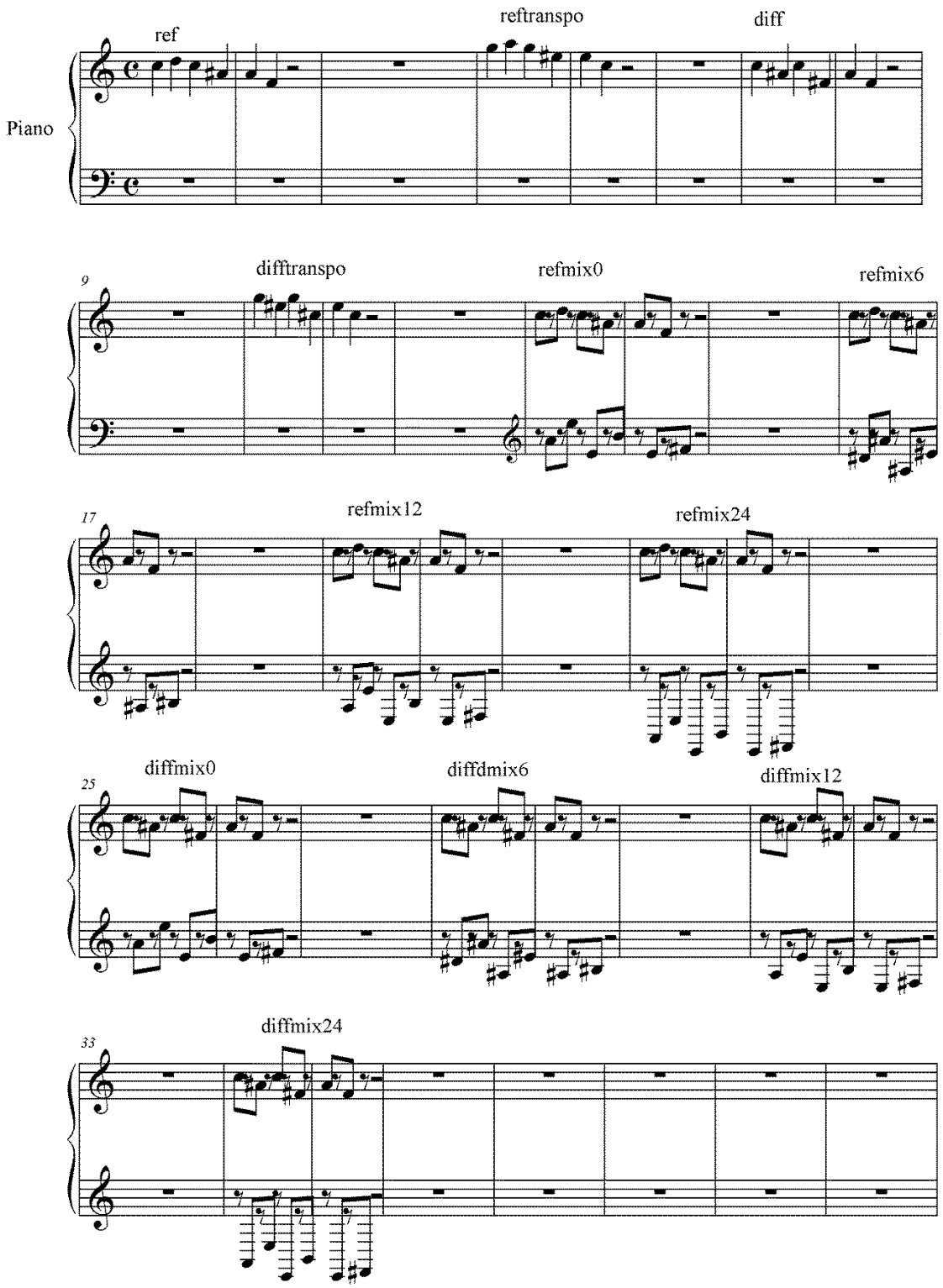
Mélodie 3


ref
reftranspo
diff
Piano
9
difftranspo
refmix0
refmix6
17
refmix12
refmix24
25
diffmix0
diffmix6
diffmix12
33
diffmix24

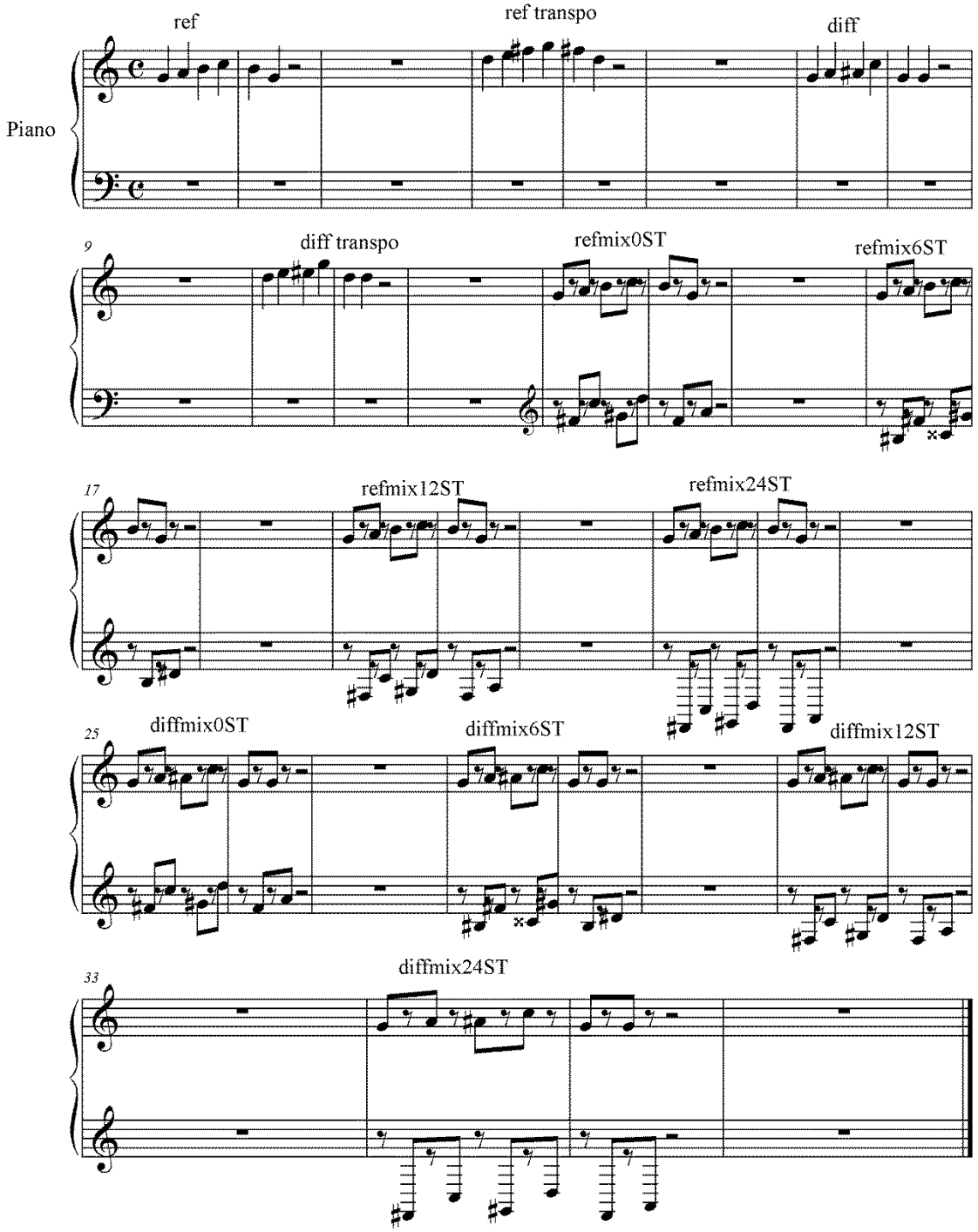
Mélodie 4


ref
reftranspo
diff
Piano
9
difftranspo
refmix0
refmix6
17
refmix12
refmix24
25
diffmix0
diffmix6
diffmix12
33
diffmix24

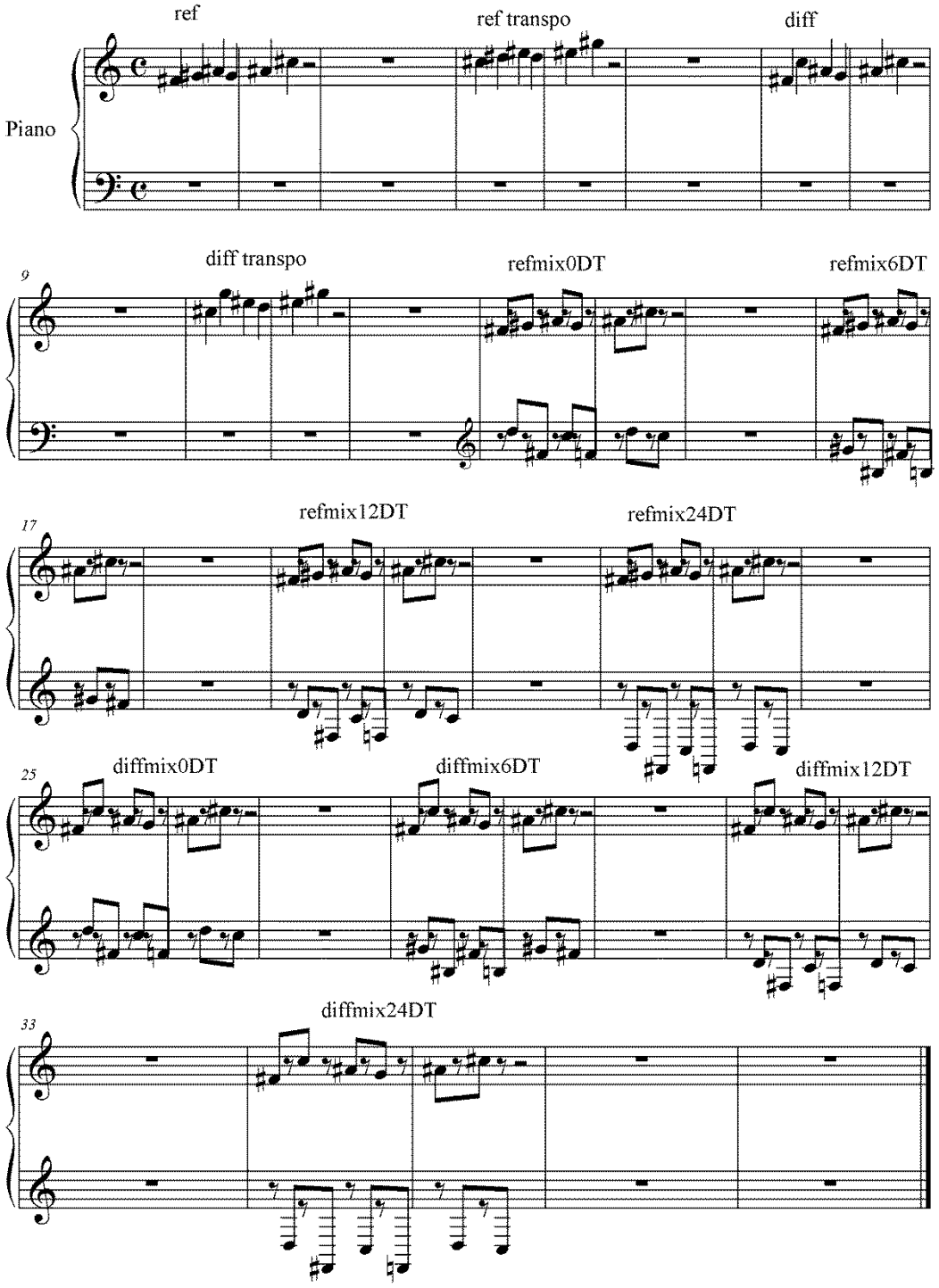
Melodie 5


ref
reftranspo
diff
Piano
9
difftranspo
refmix0
refmix6
17
refmix12
refmix24
25
diffmix0
diffdmix6
diffmix12
33
diffmix24

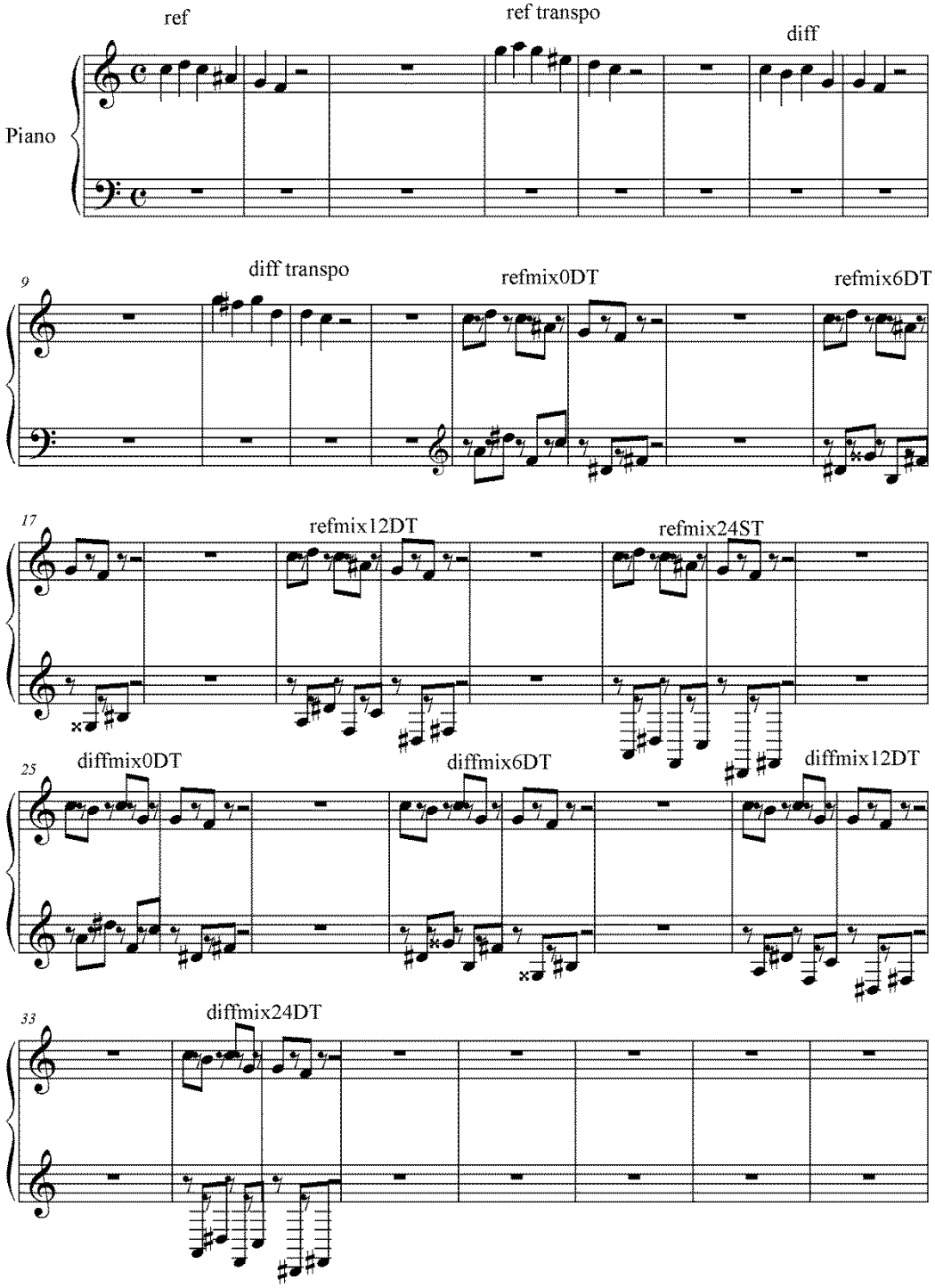
Mélodie 6


ref
ref transpo
diff
Piano
9
diff transpo
refmix0ST
refmix6ST
17
refmix12ST
refmix24ST
25
diffmix0ST
diffmix6ST
diffmix12ST
33
diffmix24ST

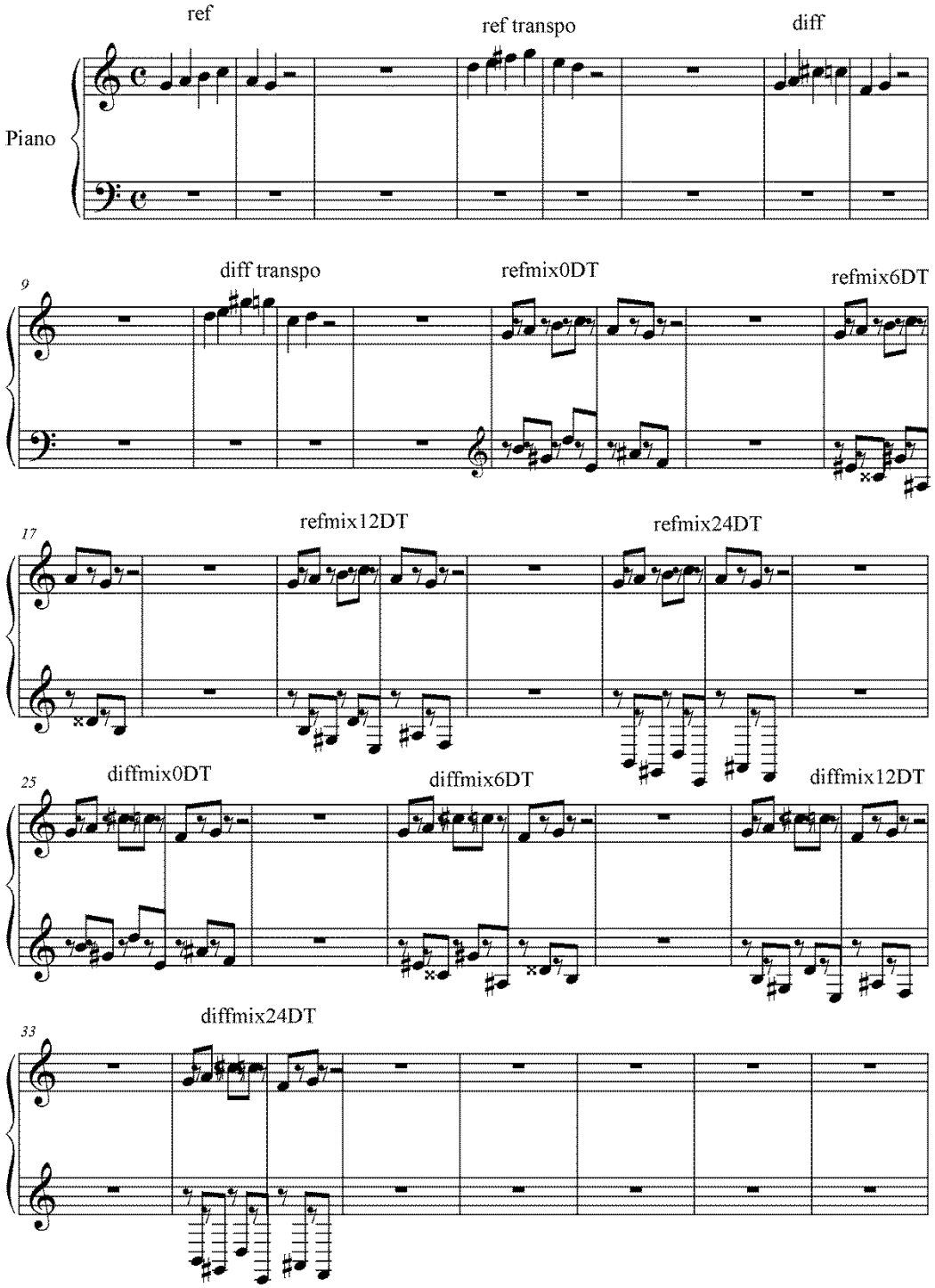
Mélodie 7


ref
ref transpo
diff
Piano
9
diff transpo
refmix0DT
refmix6DT
17
refmix12DT
refmix24DT
25
diffmix0DT
diffmix6DT
diffmix12DT
33
diffmix24DT

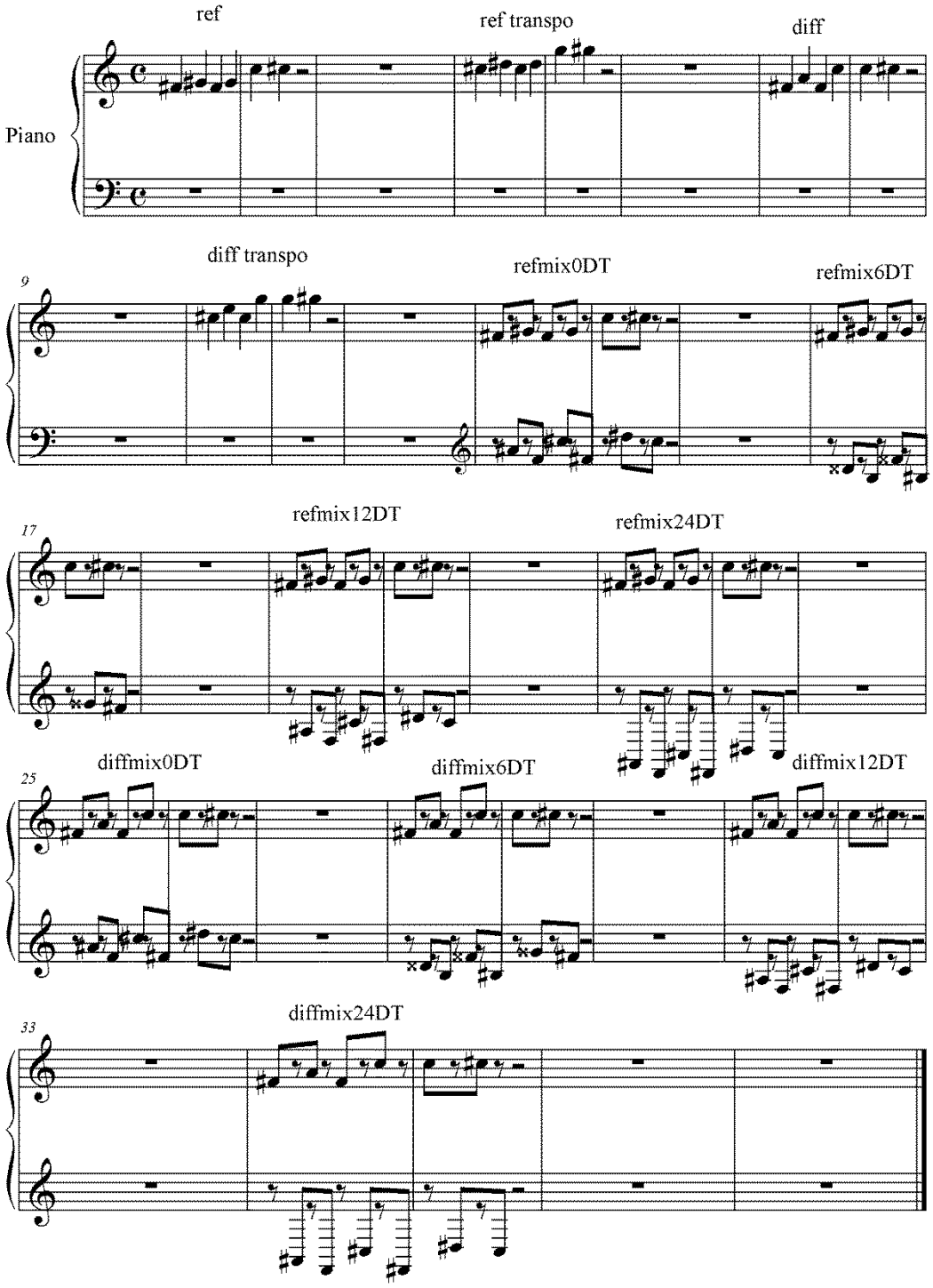
Mélodie 8


ref
ref transpo
diff
Piano
9
diff transpo
refmix0DT
refmix6DT
17
refmix12DT
refmix24ST
25
diffmix0DT
diffmix6DT
diffmix12DT
33
diffmix24DT

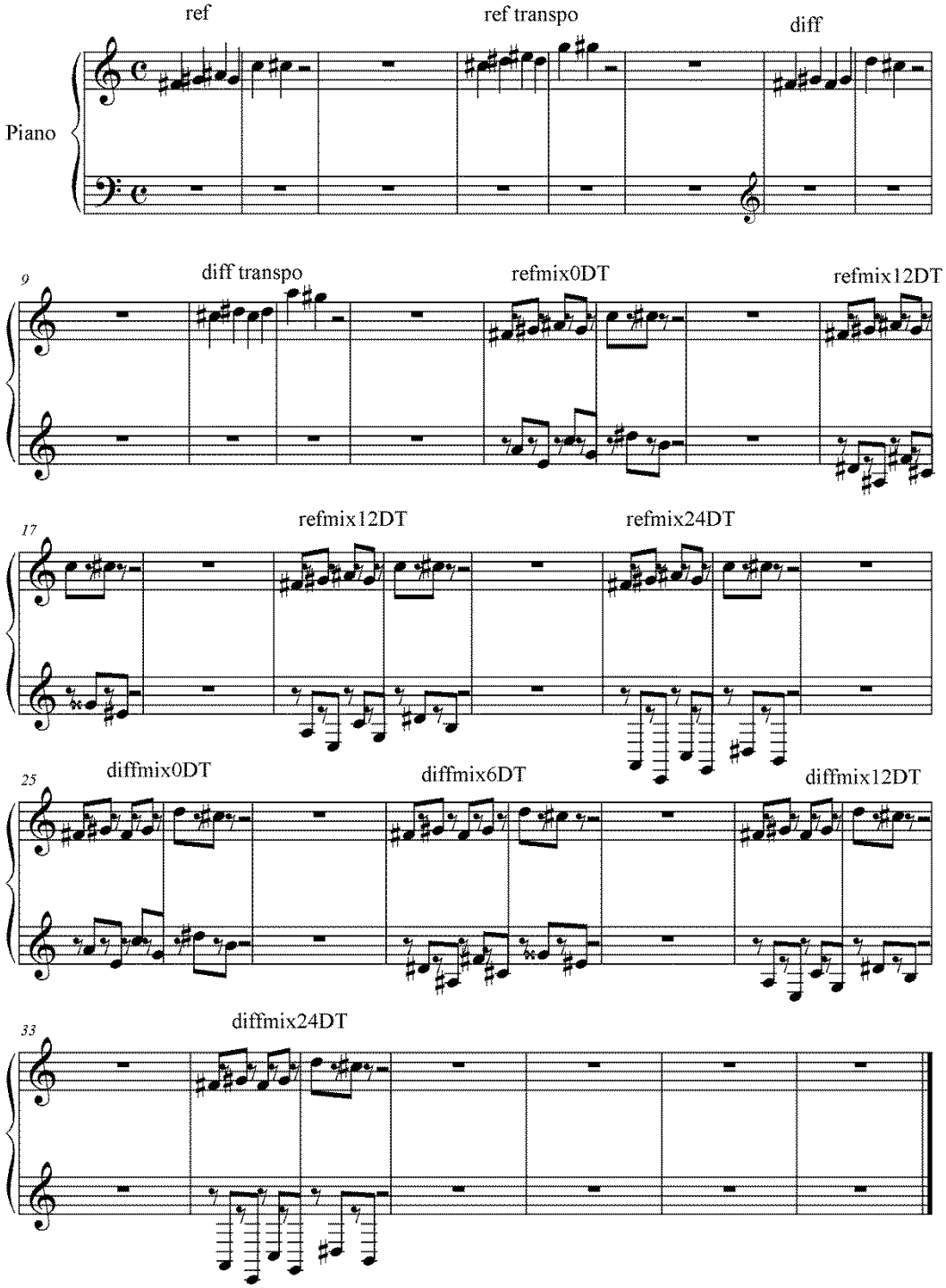
Mélodie 9


ref
ref transpo
diff
Piano
9
diff transpo
refmix0DT
refmix6DT
17
refmix12DT
refmix24DT
25
diffmix0DT
diffmix6DT
diffmix12DT
33
diffmix24DT

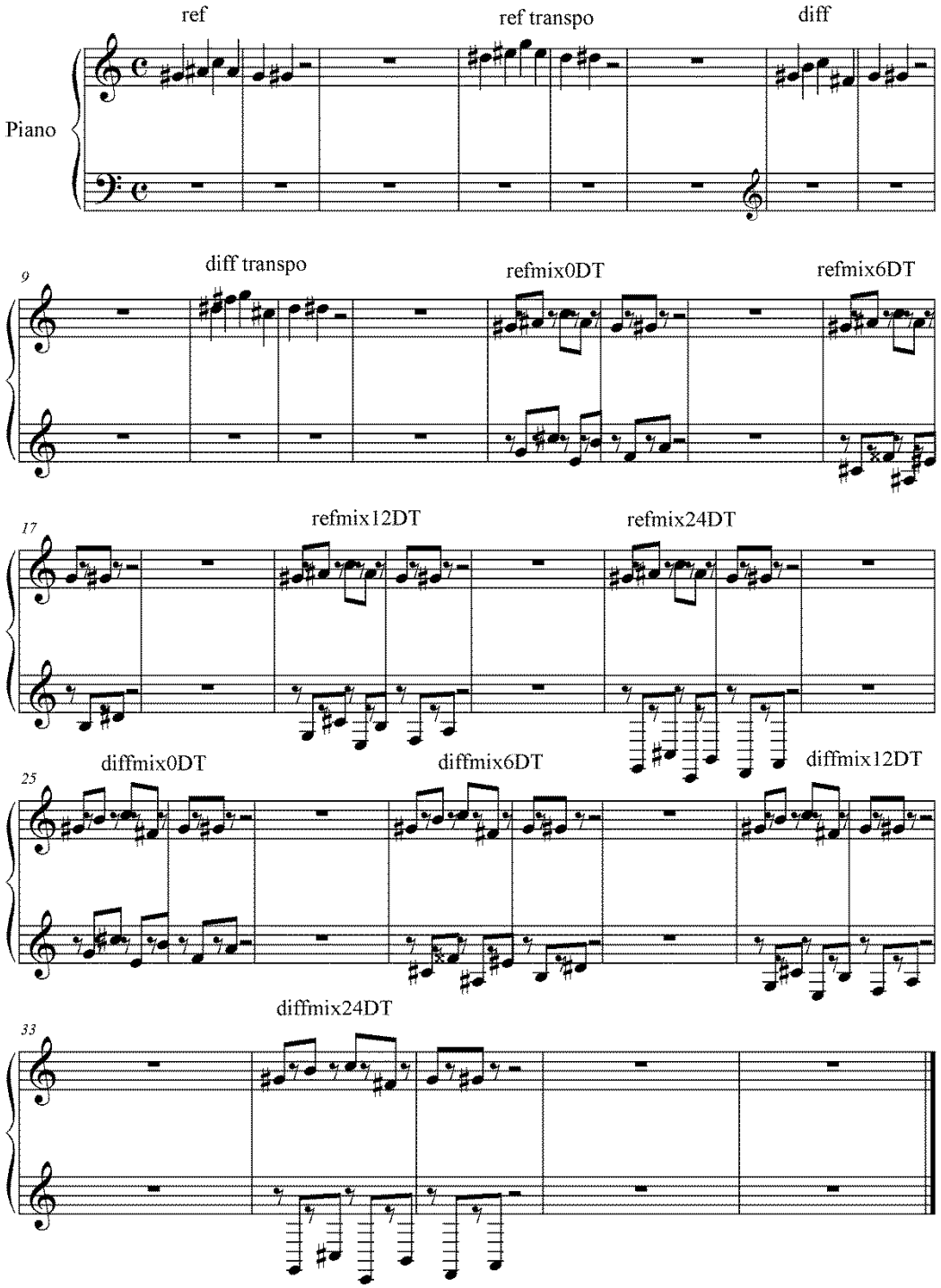
Mélodie 10


ref
ref transpo
diff
Piano
9
diff transpo
refmix0DT
refmix6DT
17
refmix12DT
refmix24DT
25
diffmix0DT
diffmix6DT
diffmix12DT
33
diffmix24DT

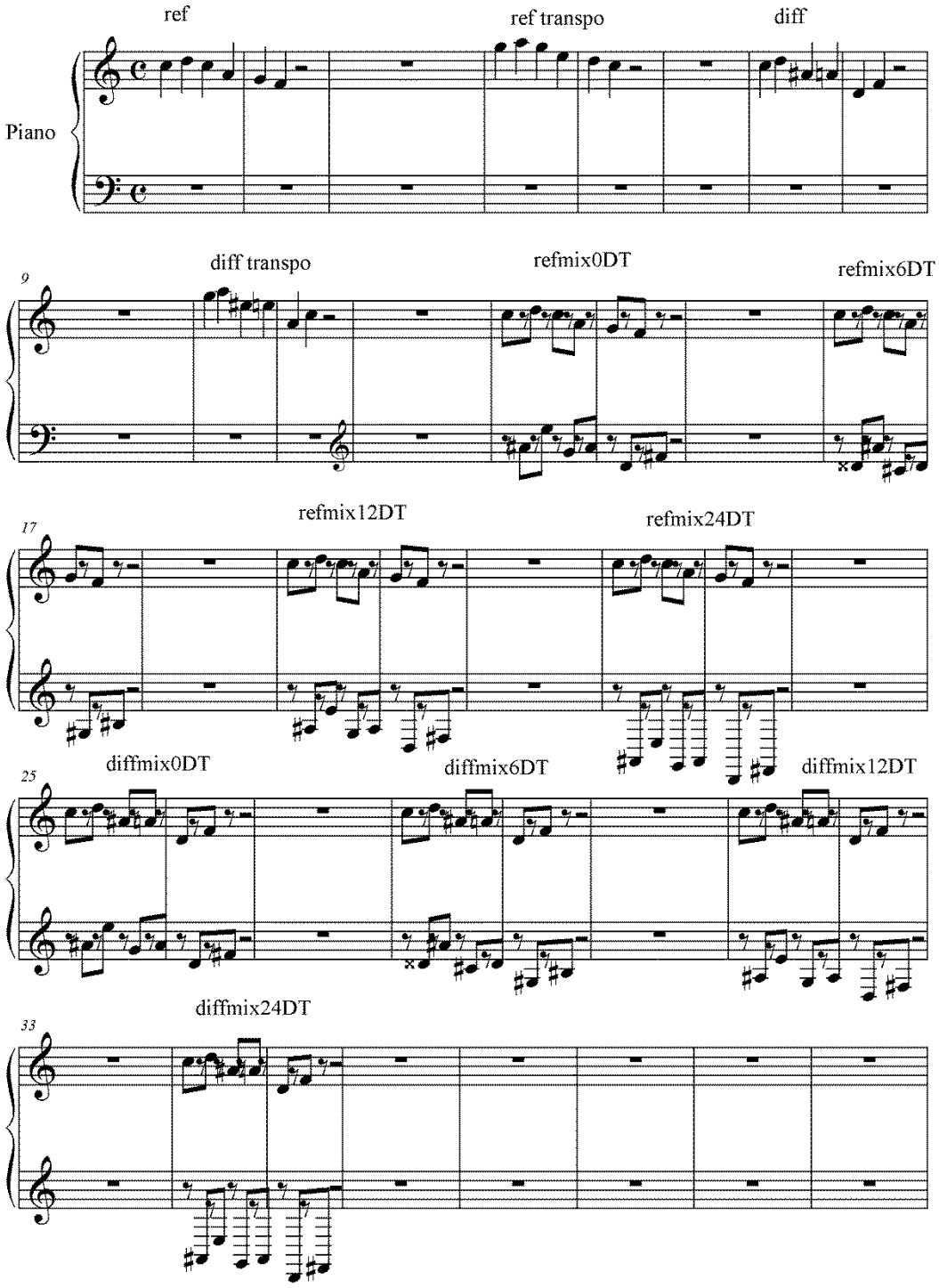
Mélodie 11


ref
ref transpo
diff
Piano
9
diff transpo
refmix0DT
refmix12DT
17
refmix12DT
refmix24DT
25
diffmix0DT
diffmix6DT
diffmix12DT
33
diffmix24DT

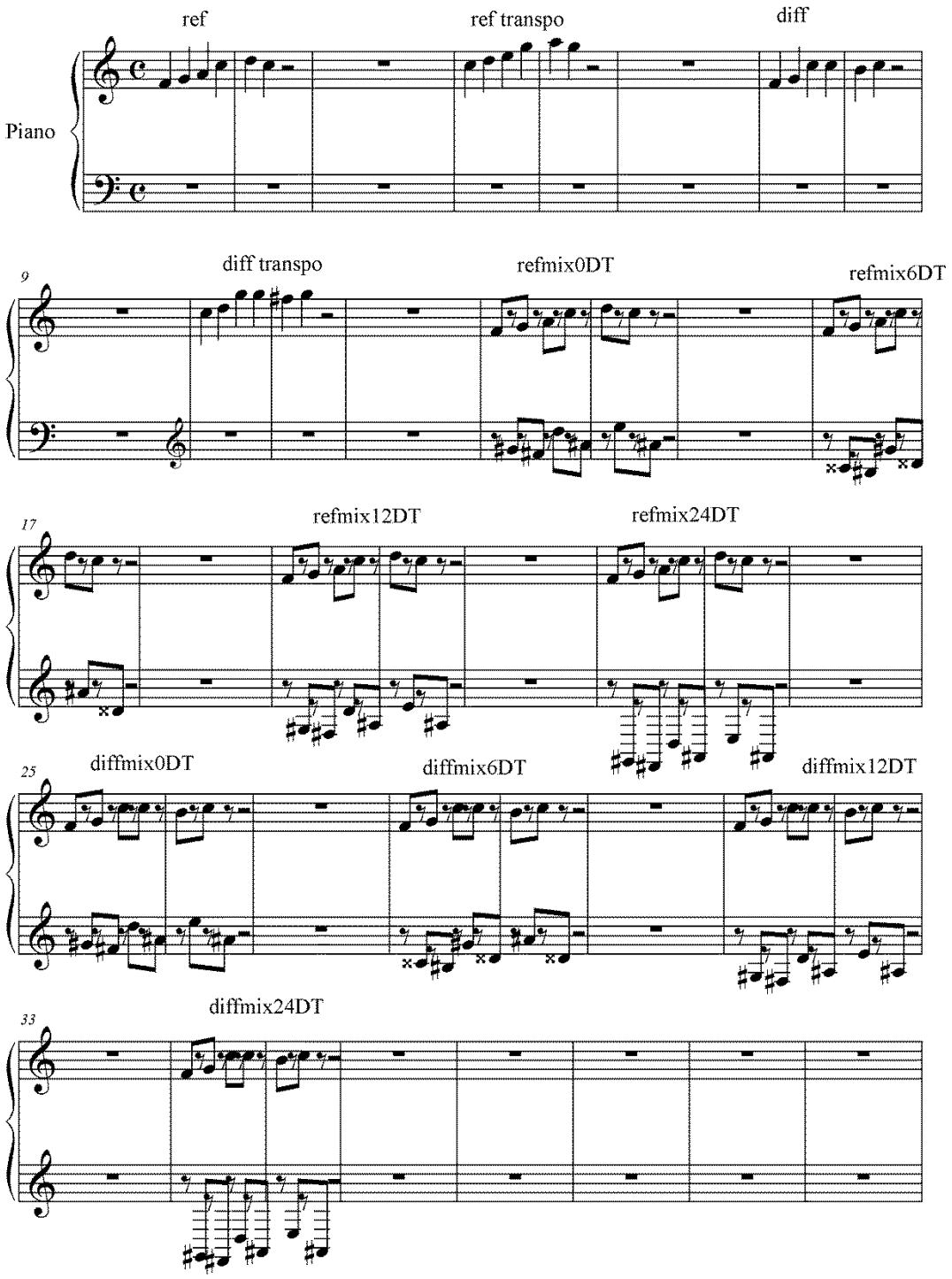
Mélodie 12


ref
ref transpo
diff
Piano
9
diff transpo
refmix0DT
refmix6DT
17
refmix12DT
refmix24DT
25
diffmix0DT
diffmix6DT
diffmix12DT
33
diffmix24DT

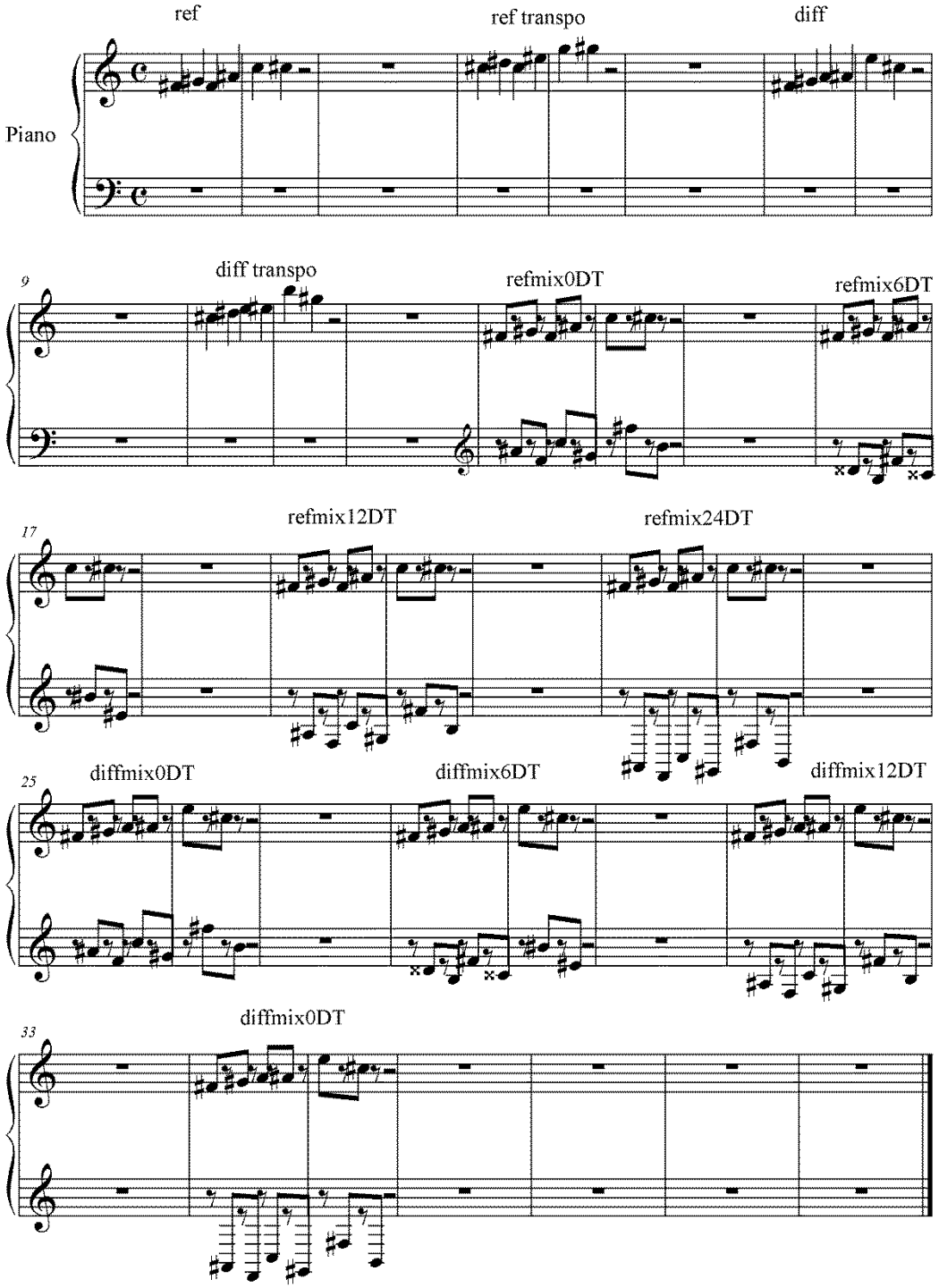
Mélodie 13


ref
ref transpo
diff
Piano
9
diff transpo
refmix0DT
refmix6DT
17
refmix12DT
refmix24DT
25
diffmix0DT
diffmix6DT
diffmix12DT
33
diffmix24DT

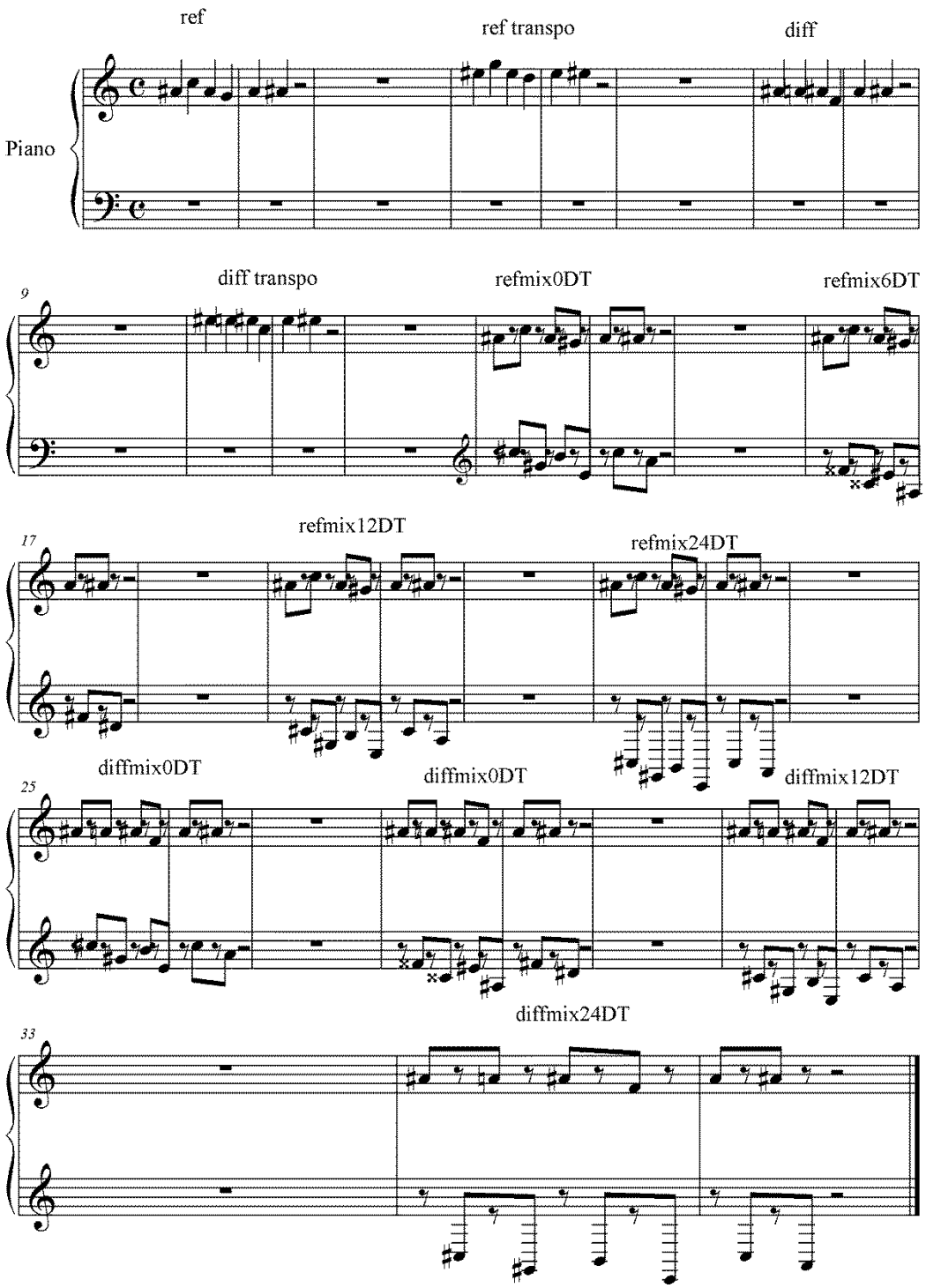
Mélodie 14


ref
ref transpo
diff
Piano
9
diff transpo
refmix0DT
refmix6DT
17
refmix12DT
refmix24DT
25
diffmix0DT
diffmix6DT
diffmix12DT
33
diffmix24DT

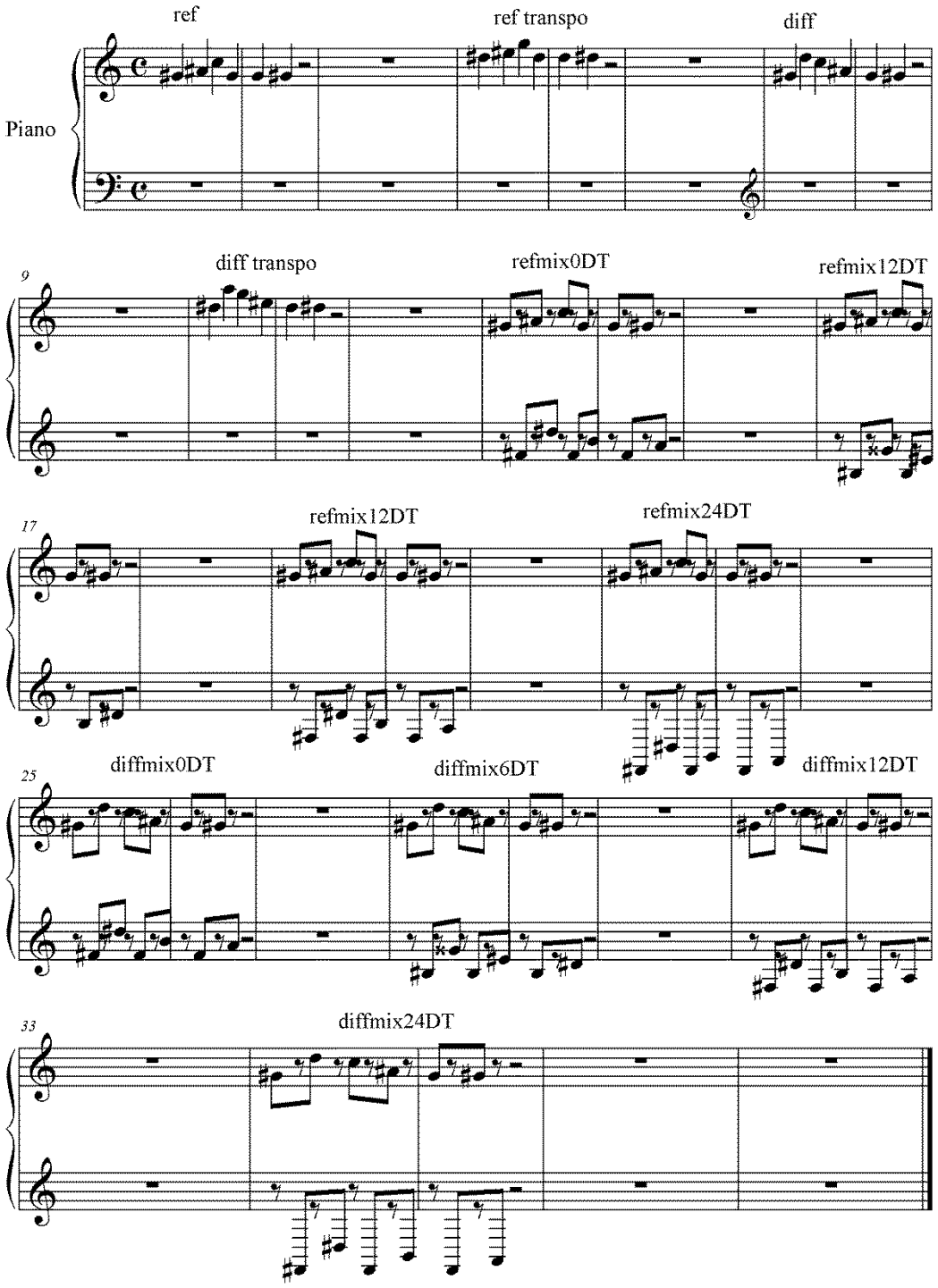
Mélodie 15


ref
ref transpo
diff
Piano
9
diff transpo
refmix0DT
refmix6DT
17
refmix12DT
refmix24DT
25
diffmix0DT
diffmix6DT
diffmix12DT
33
diffmix0DT

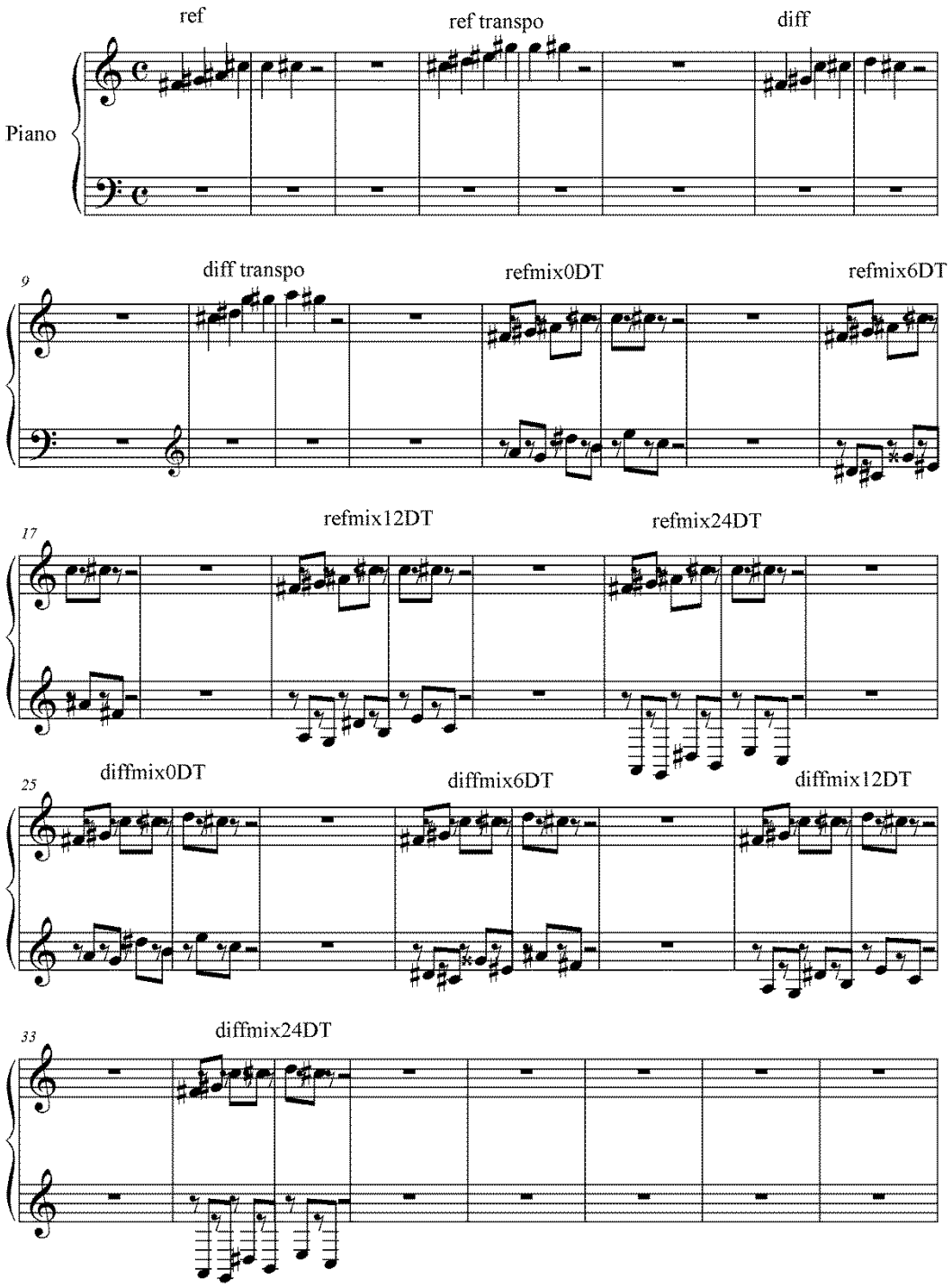
Mélodie 16


ref
ref transpo
diff
Piano
9
diff transpo
refmix0DT
refmix6DT
17
refmix12DT
refmix24DT
25
diffmix0DT
diffmix0DT
diffmix12DT
33
diffmix24DT

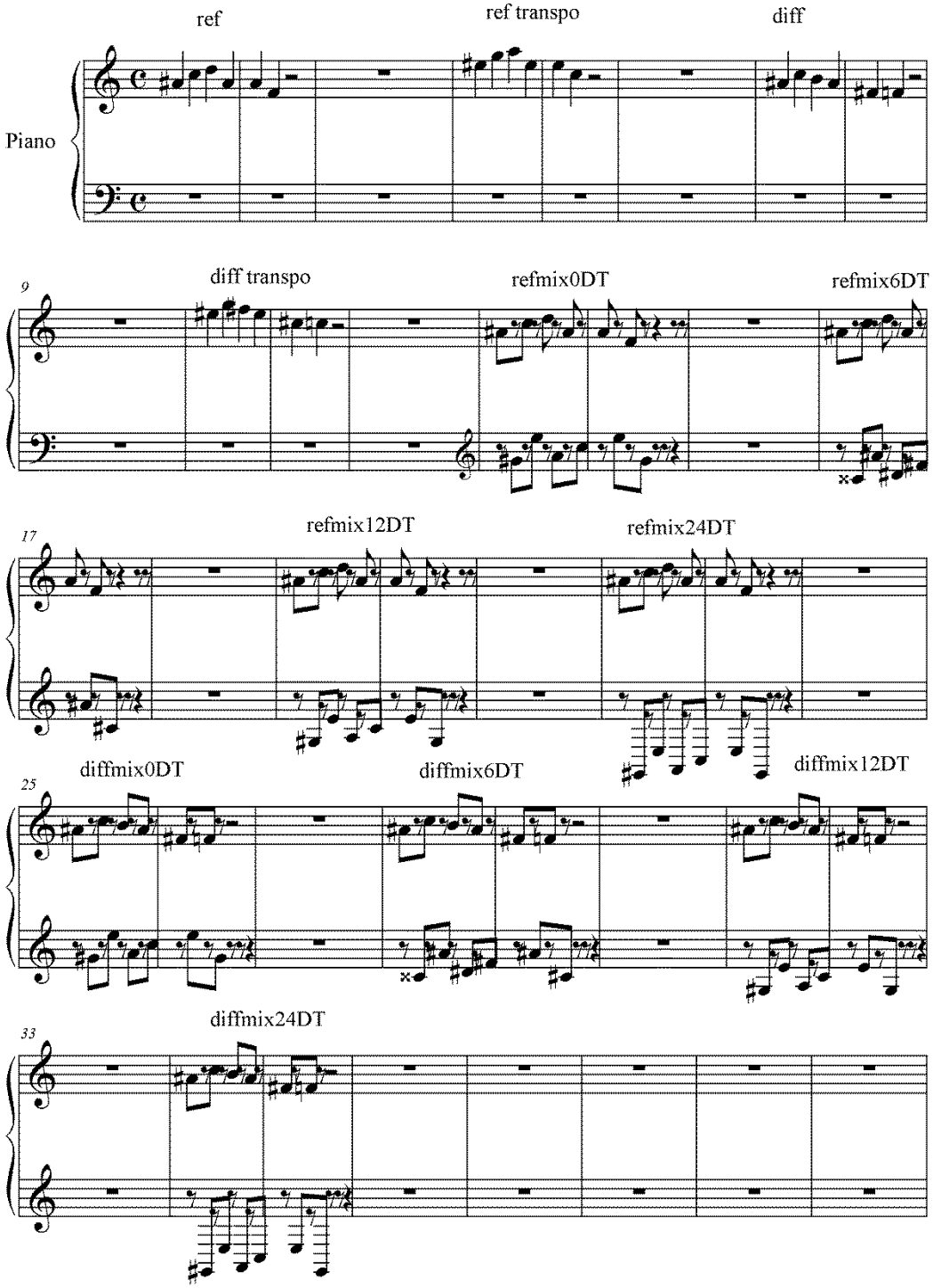
Mélodie 17


ref
ref transpo
diff
Piano
9
diff transpo
refmix0DT
refmix12DT
17
refmix12DT
refmix24DT
25
diffmix0DT
diffmix6DT
diffmix12DT
33
diffmix24DT

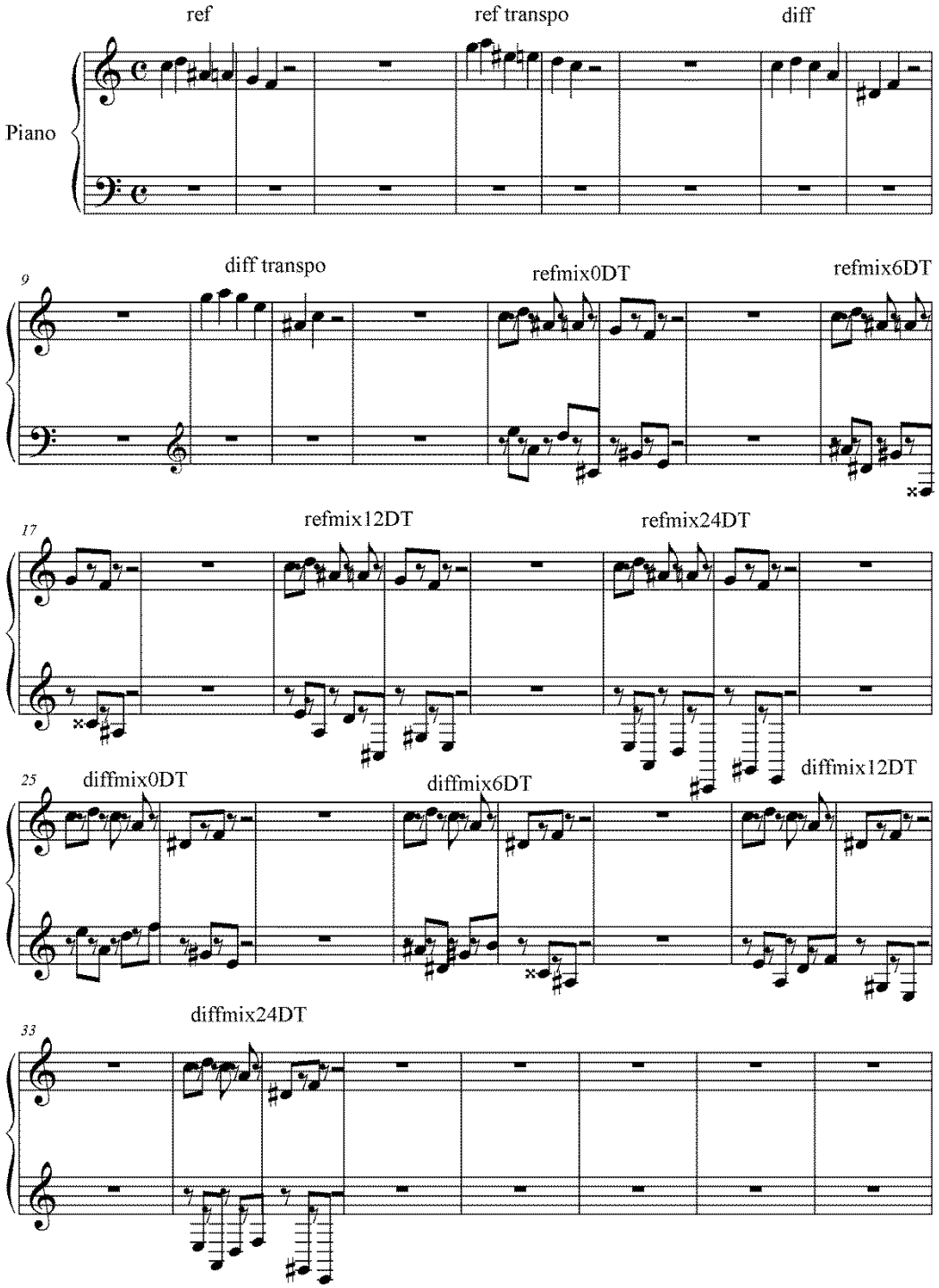
Mélodie 18


ref
ref transpo
diff
Piano
9
diff transpo
refmix0DT
refmix6DT
17
refmix12DT
refmix24DT
25
diffmix0DT
diffmix6DT
diffmix12DT
33
diffmix24DT

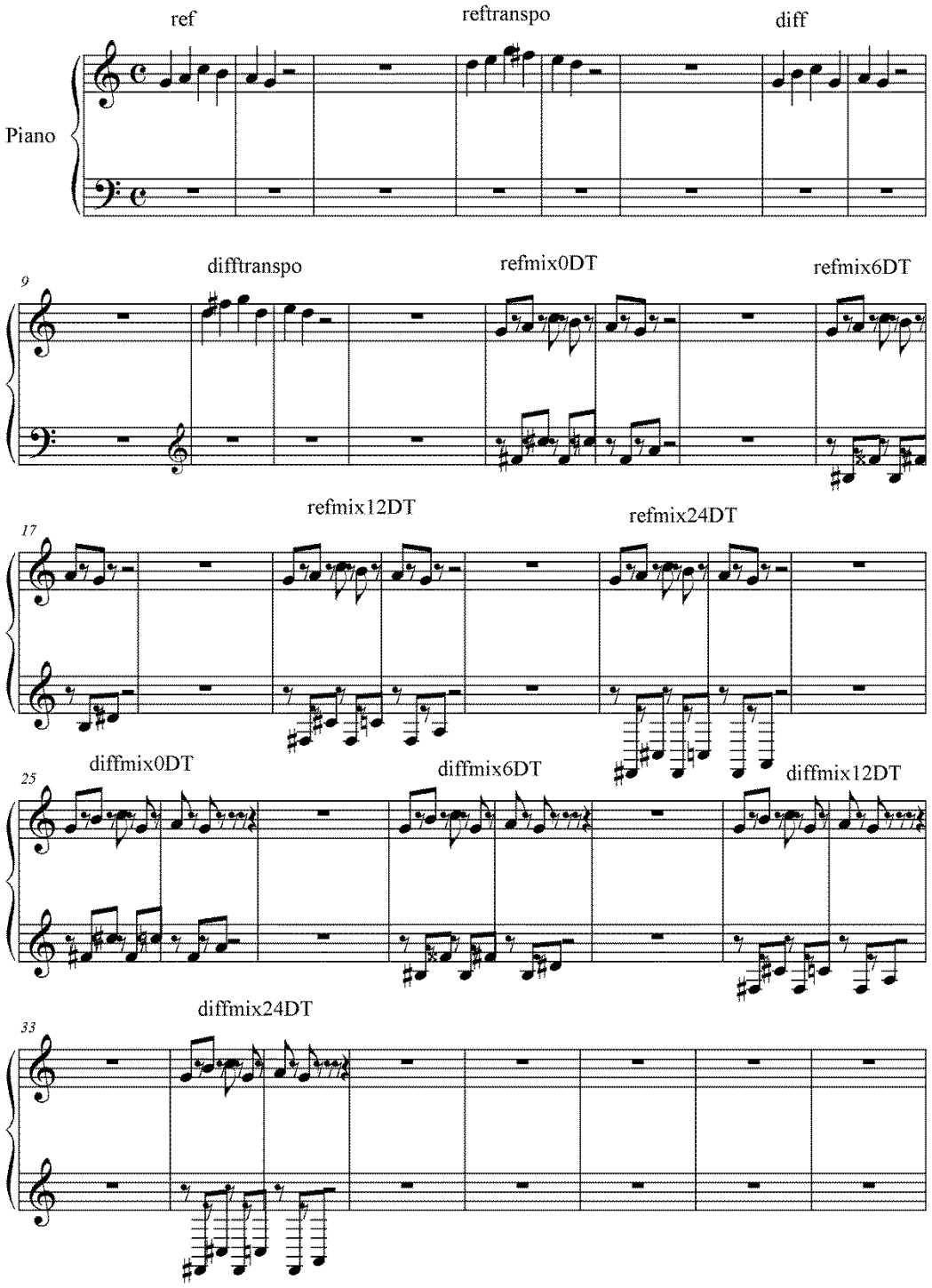
Mélodie 19


ref
ref transpo
diff
Piano
9
diff transpo
refmix0DT
refmix6DT
17
refmix12DT
refmix24DT
25
diffmix0DT
diffmix6DT
diffmix12DT
33
diffmix24DT

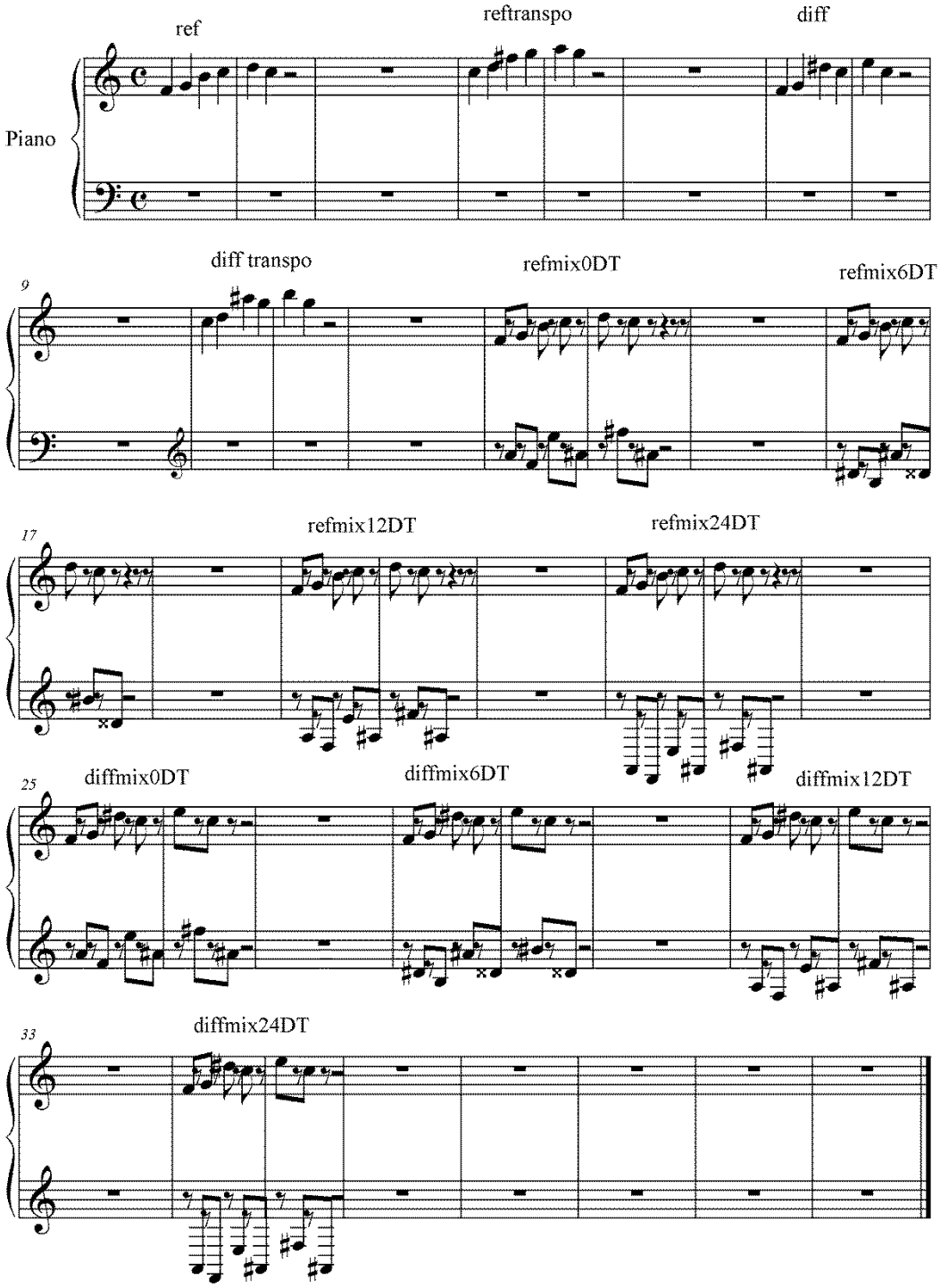
Mélodie 20


ref
ref transpo
diff
Piano
9
diff transpo
refmix0DT
refmix6DT
17
refmix12DT
refmix24DT
25
diffmix0DT
diffmix6DT
diffmix12DT
33
diffmix24DT

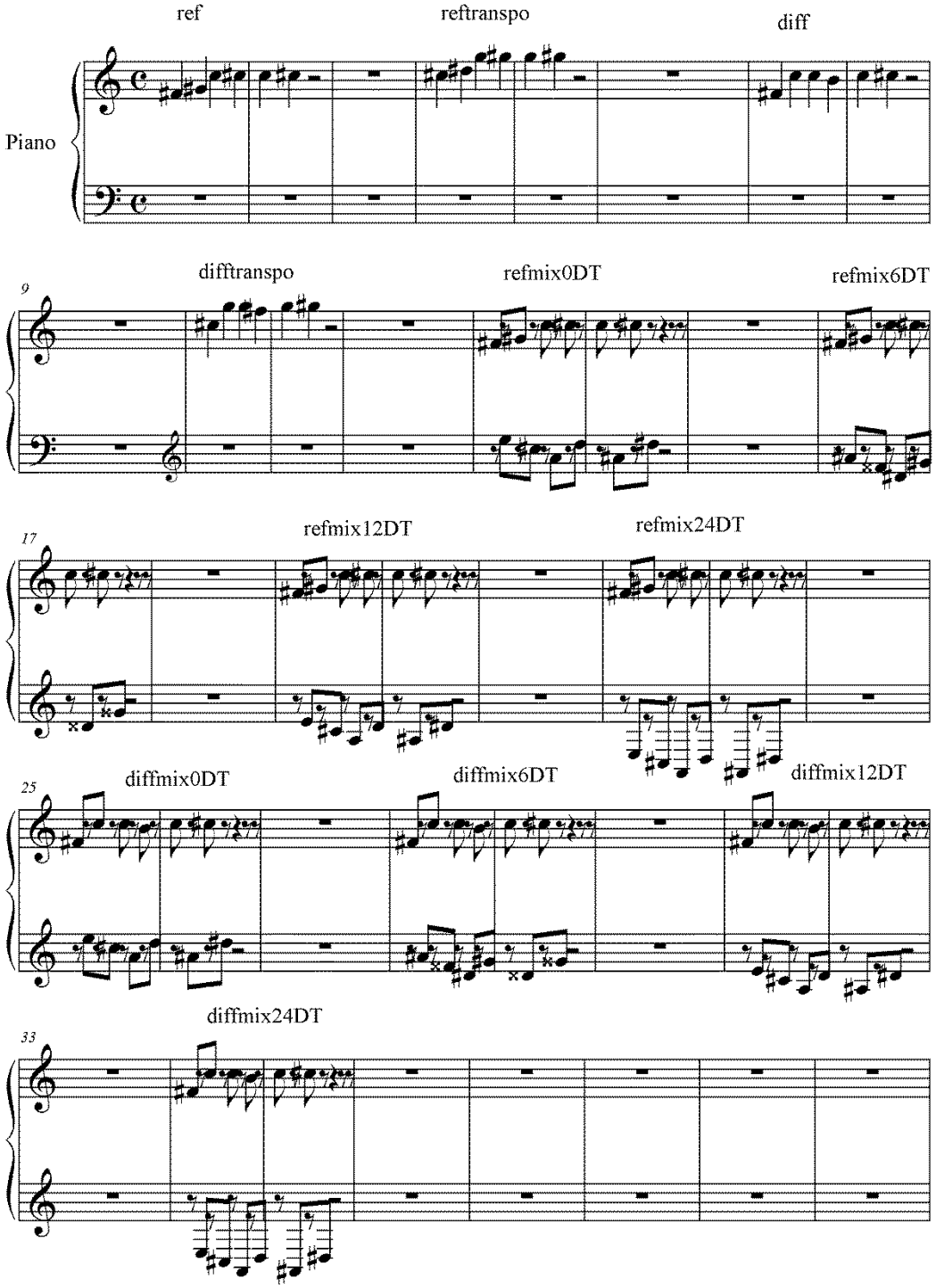
Mélodie 21


ref
reftranspo
diff
Piano
9
difftranspo
refmix0DT
refmix6DT
17
refmix12DT
refmix24DT
25
diffmix0DT
diffmix6DT
diffmix12DT
33
diffmix24DT

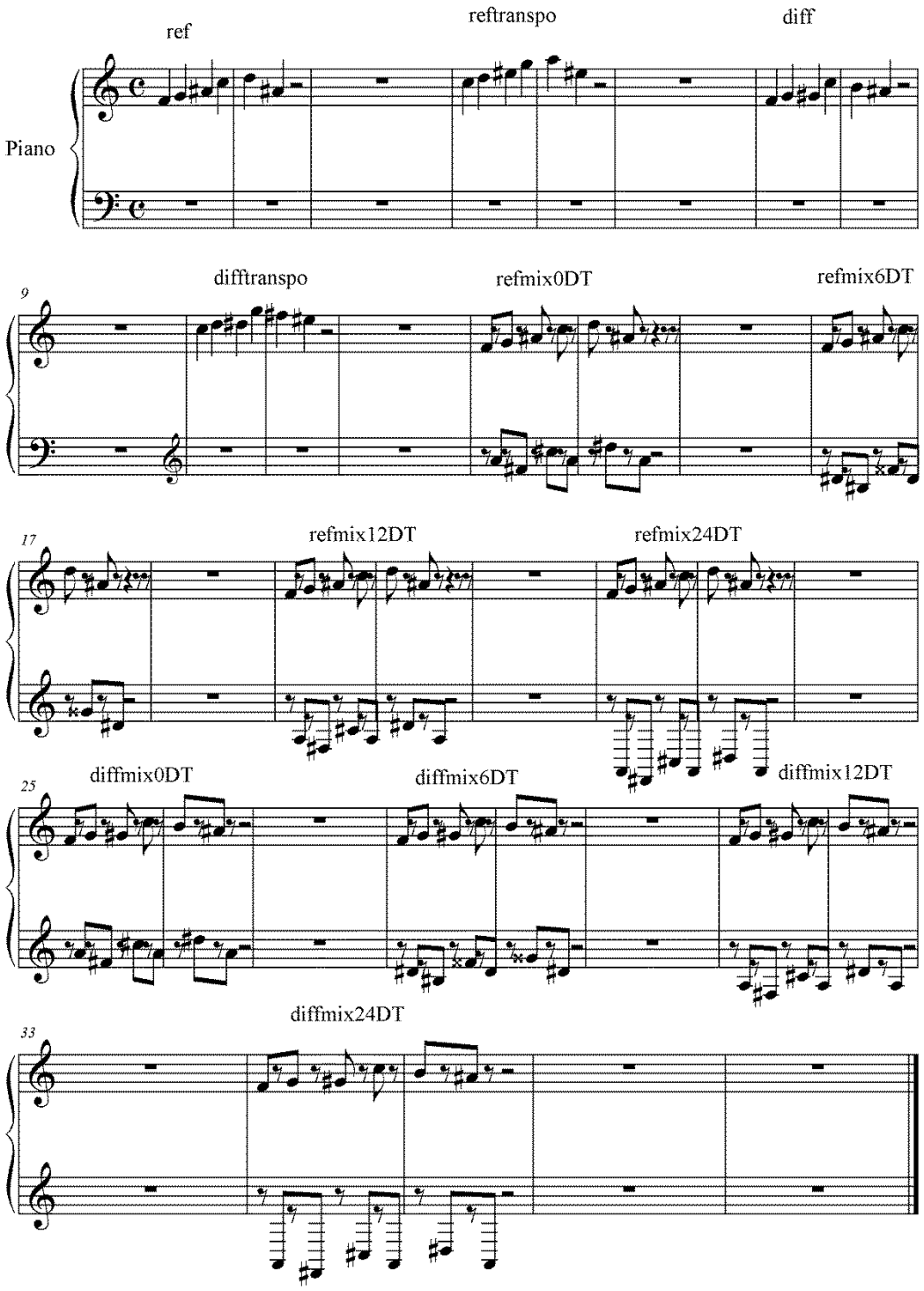
Mélodie 22


ref
reftranspo
diff
Piano
9
diff transpo
refmix0DT
refmix6DT
17
refmix12DT
refmix24DT
25
diffmix0DT
diffmix6DT
diffmix12DT
33
diffmix24DT

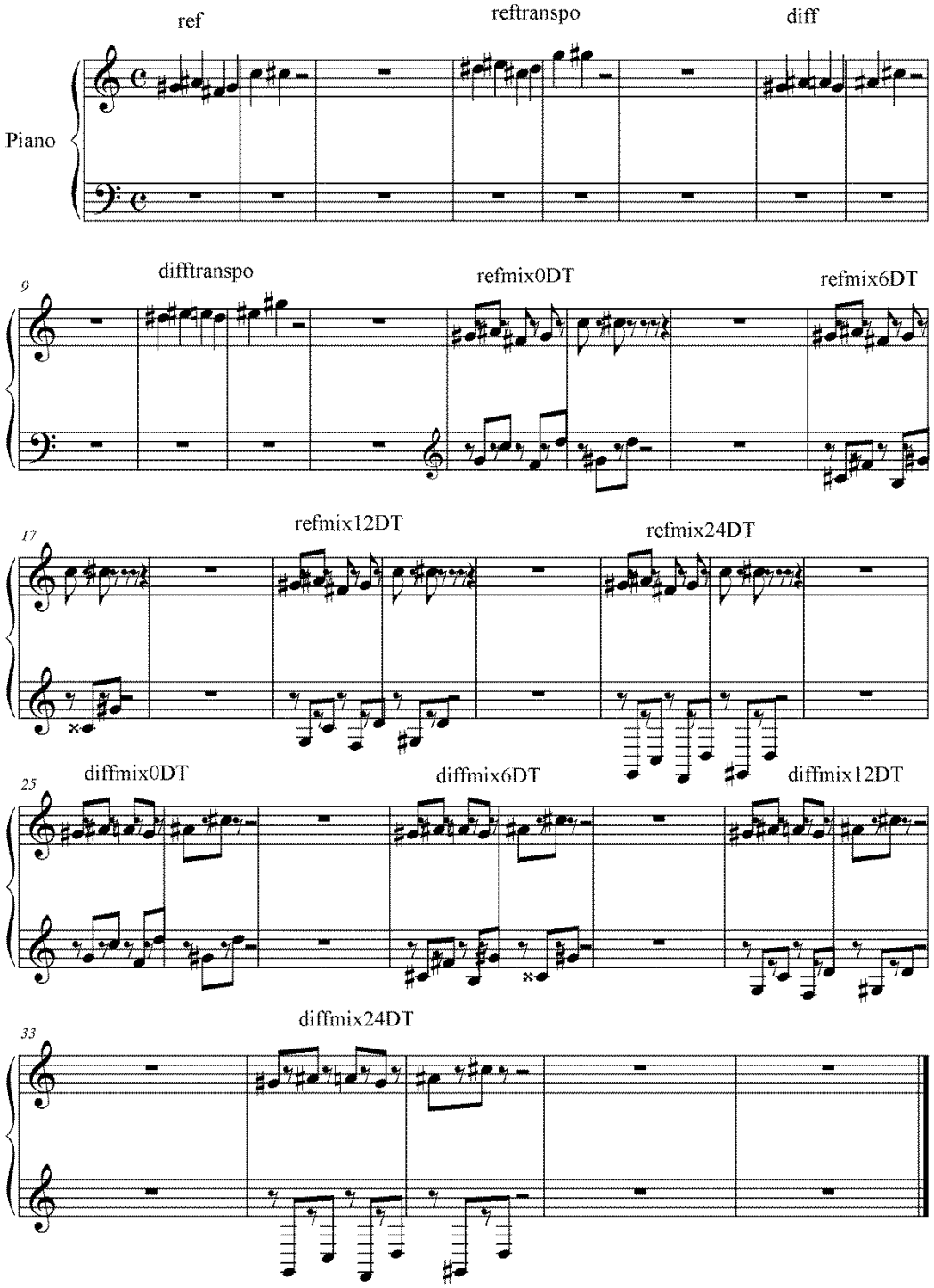
Mélodie 23


ref
reftranspo
diff
Piano
9
difftranspo
refmix0DT
refmix6DT
17
refmix12DT
refmix24DT
25
diffmix0DT
diffmix6DT
diffmix12DT
33
diffmix24DT

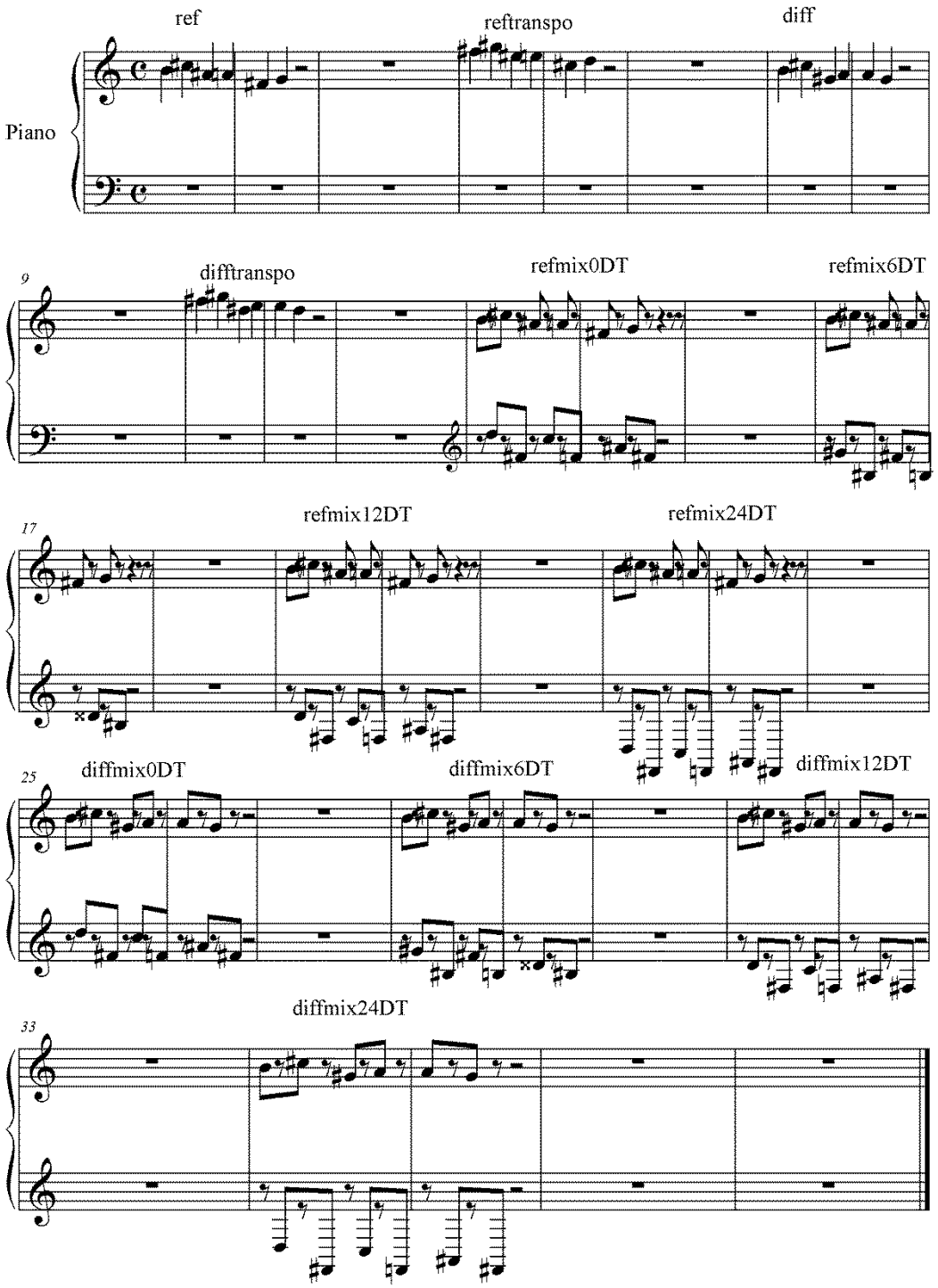
Mélodie 24


ref
reftranspo
diff
Piano
9
difftranspo
refmix0DT
refmix6DT
17
refmix12DT
refmix24DT
25
diffmix0DT
diffmix6DT
diffmix12DT
33
diffmix24DT

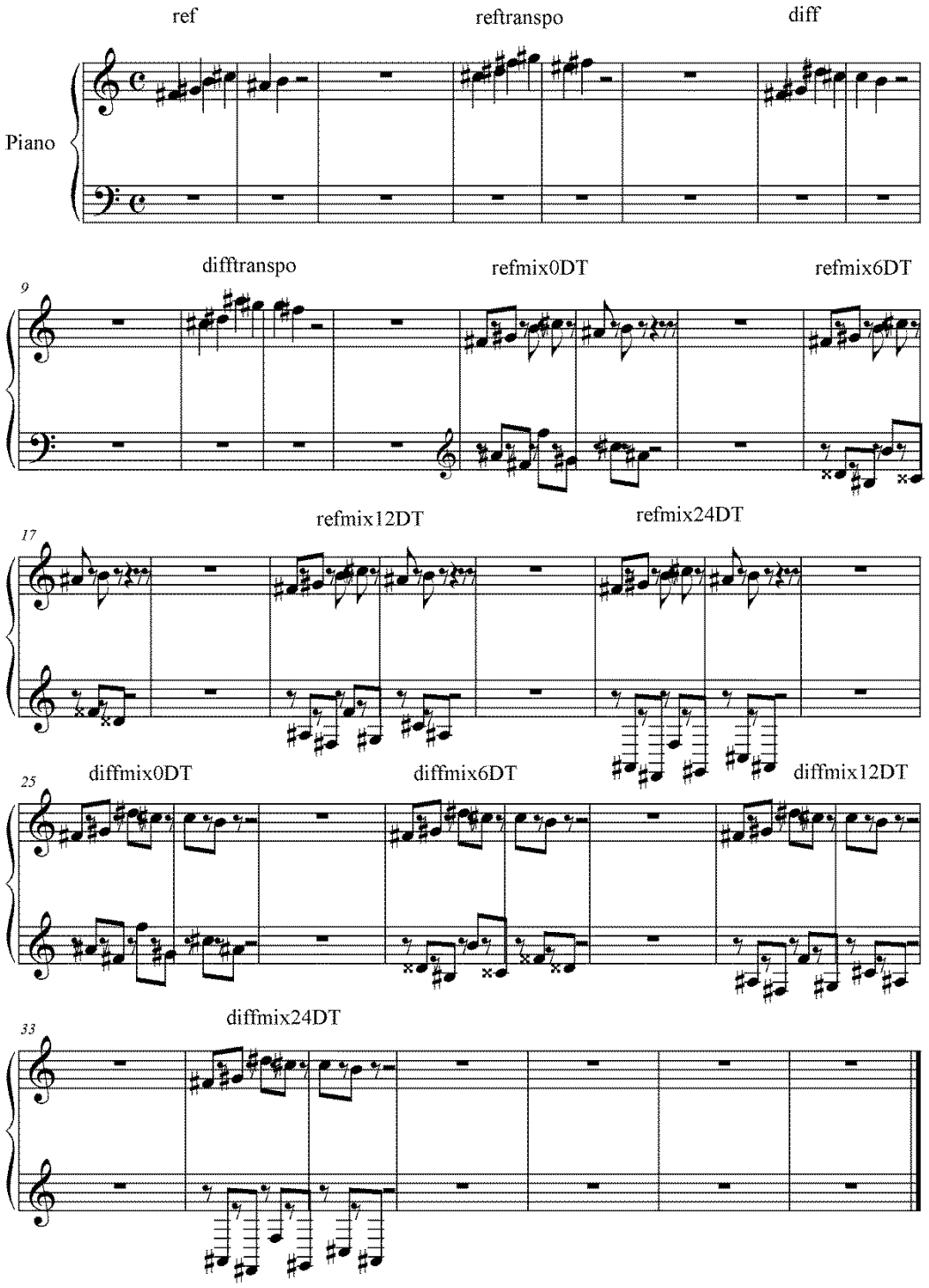
Mélodie 25


ref
reftranspo
diff
Piano
9
difftranspo
refmix0DT
refmix6DT
17
refmix12DT
refmix24DT
25
diffmix0DT
diffmix6DT
diffmix12DT
33
diffmix24DT

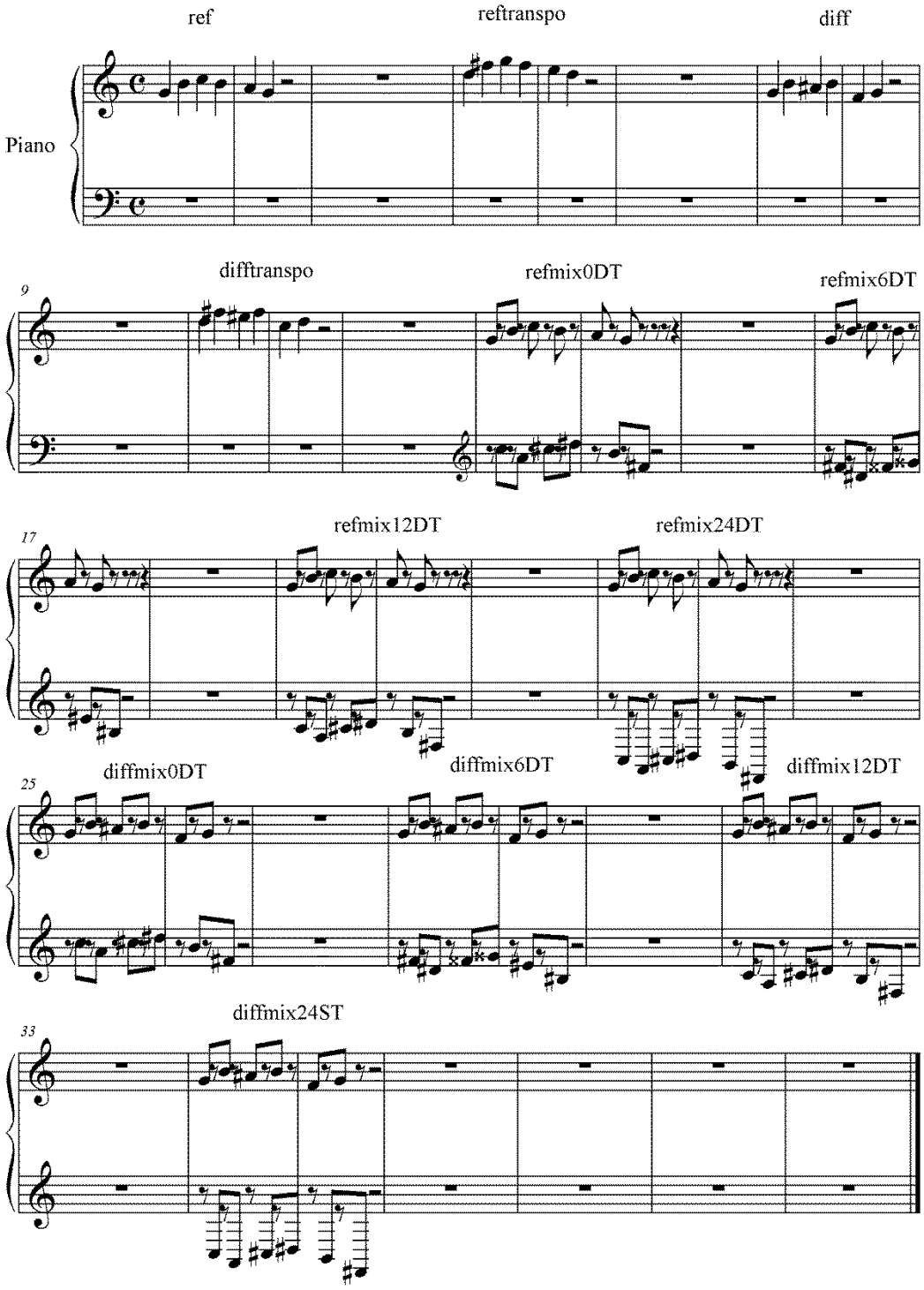
Mélodie 26


ref
reftranspo
diff
Piano
9
difftranspo
refmix0DT
refmix6DT
17
refmix12DT
refmix24DT
25
diffmix0DT
diffmix6DT
diffmix12DT
33
diffmix24DT

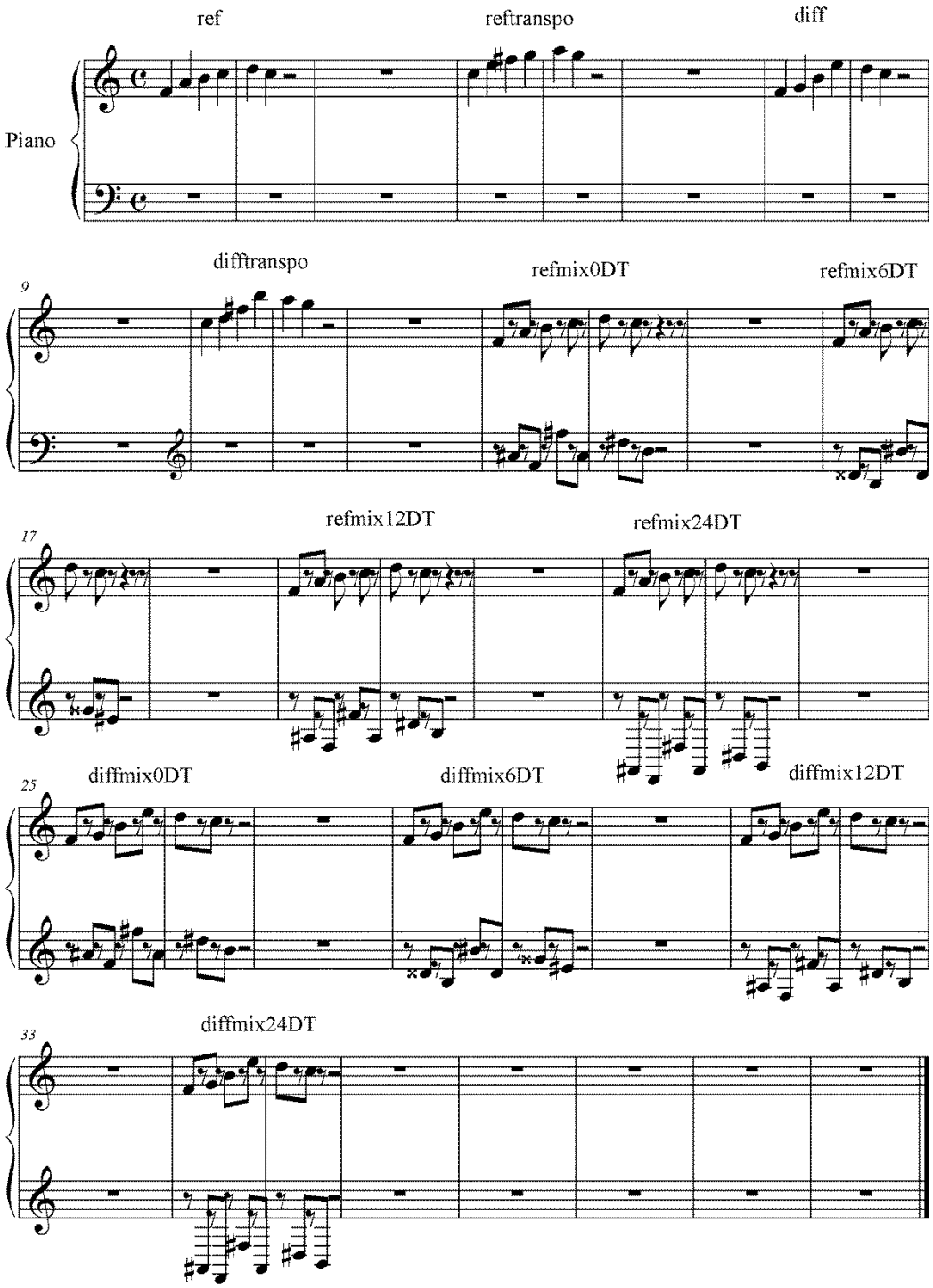
Mélodie 27


ref
reftranspo
diff
Piano
difftranspo
refmix0DT
refmix6DT
refmix12DT
refmix24DT
diffmix0DT
diffmix6DT
diffmix12DT
diffmix24DT

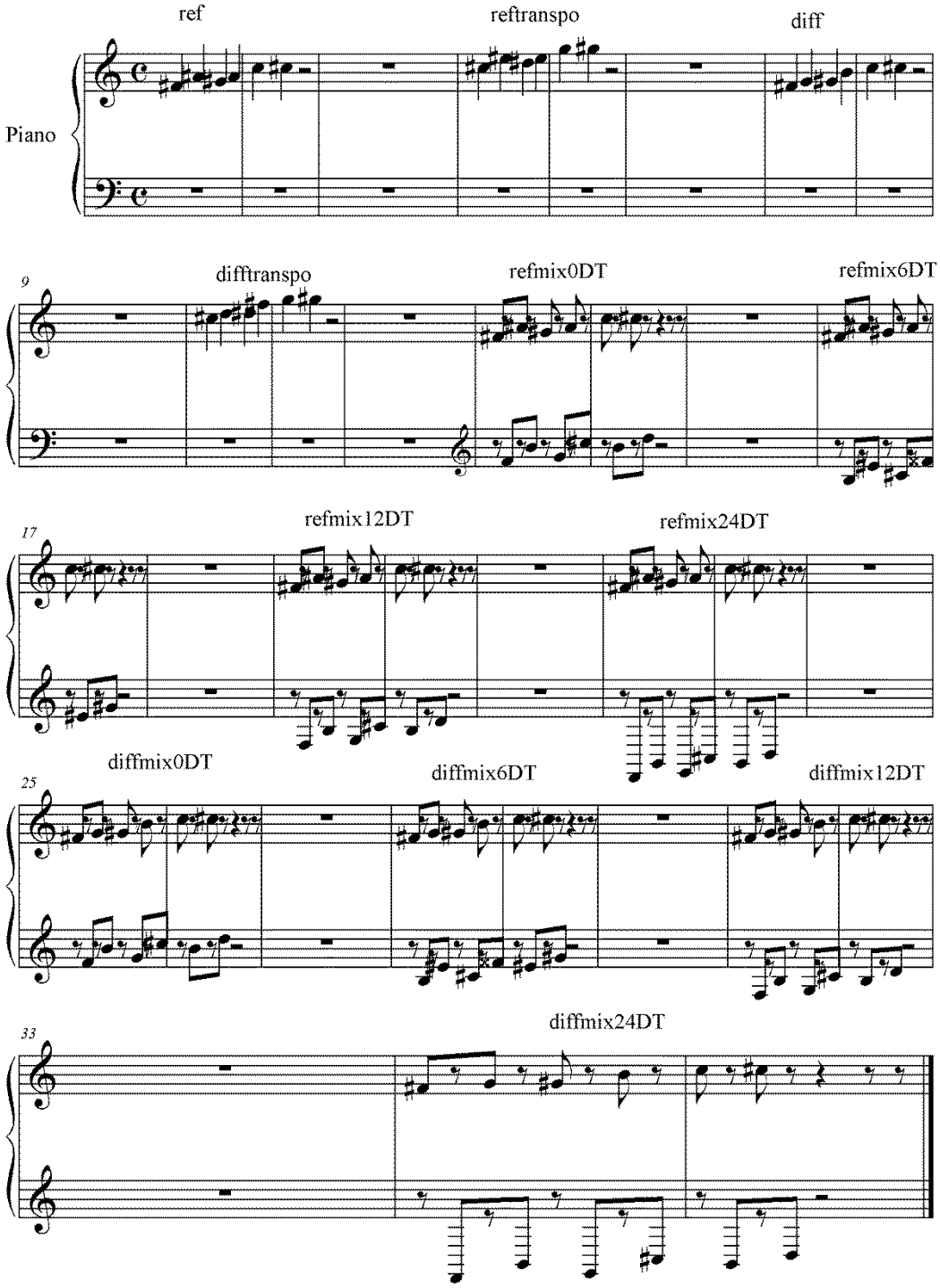
Mélodie 28


ref
reftranspo
diff
Piano
9
difftranspo
refmix0DT
refmix6DT
17
refmix12DT
refmix24DT
25
diffmix0DT
diffmix6DT
diffmix12DT
33
diffmix24ST

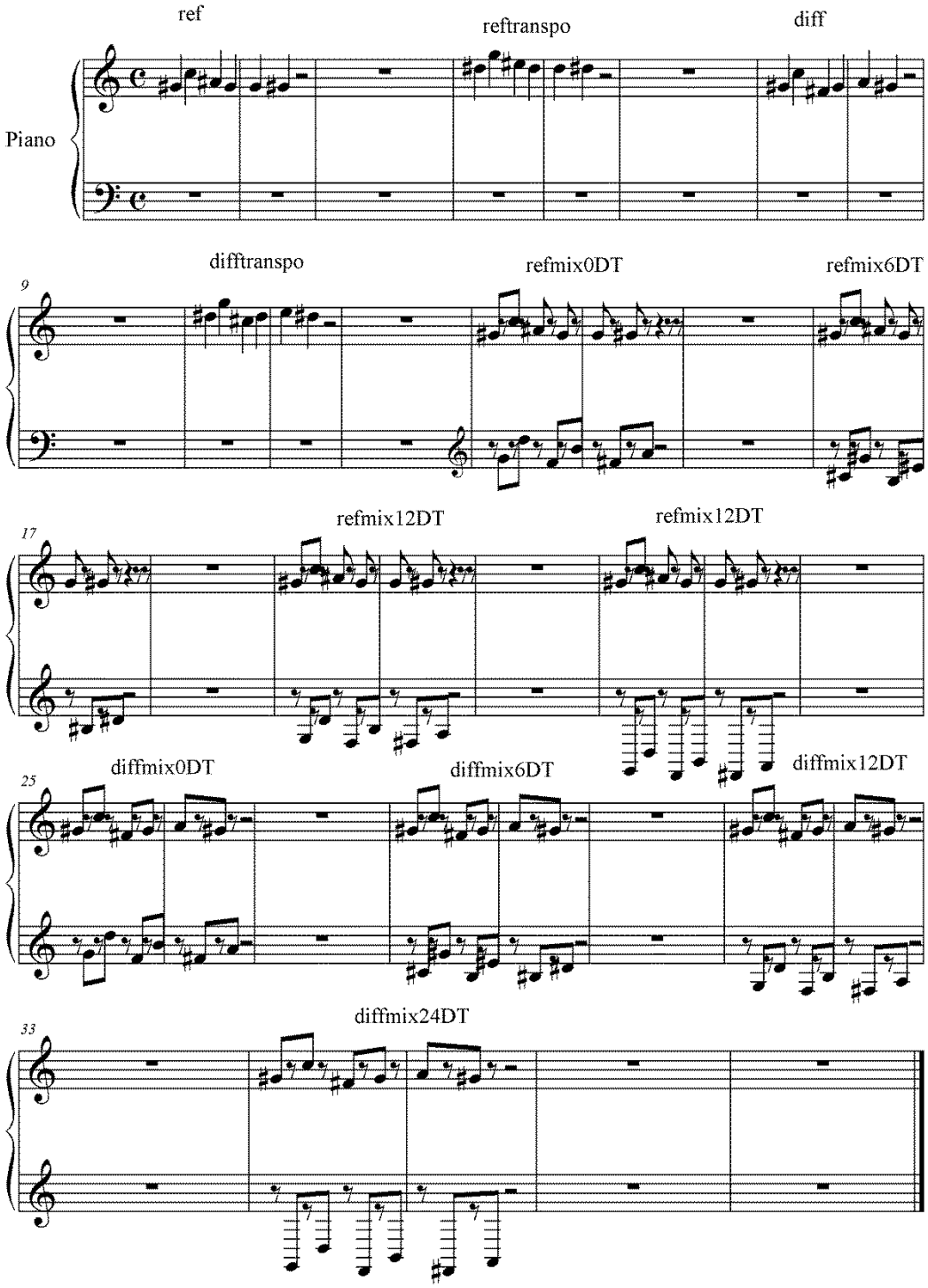
Mélodie 29


ref
reftranspo
diff
Piano
9
difftranspo
refmix0DT
refmix6DT
17
refmix12DT
refmix24DT
25
diffmix0DT
diffmix6DT
diffmix12DT
33
diffmix24DT

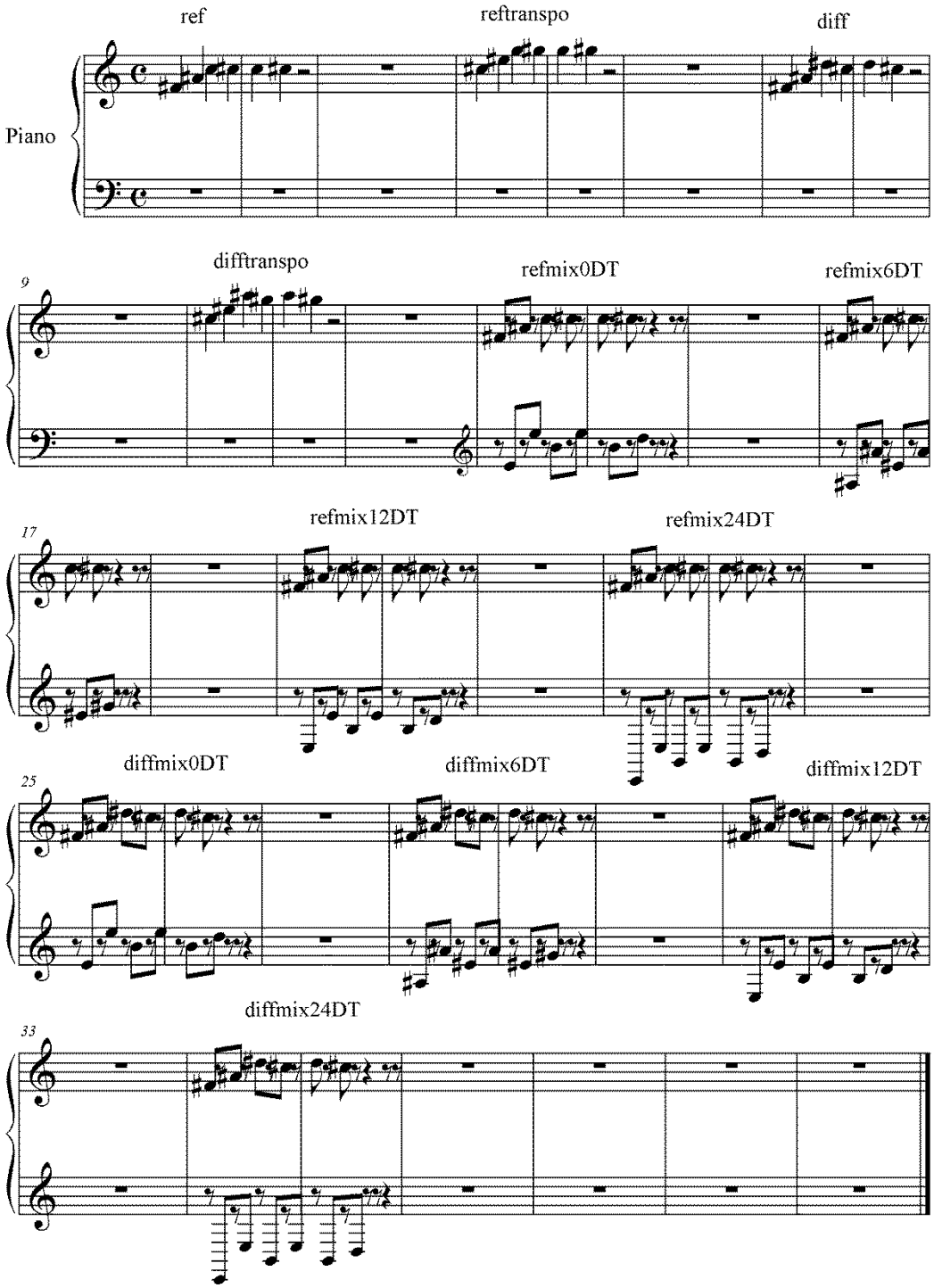
Mélodie 30


ref
reftranspo
diff
Piano
9
difftranspo
refmix0DT
refmix6DT
17
refmix12DT
refmix24DT
25
diffmix0DT
diffmix6DT
diffmix12DT
33
diffmix24DT

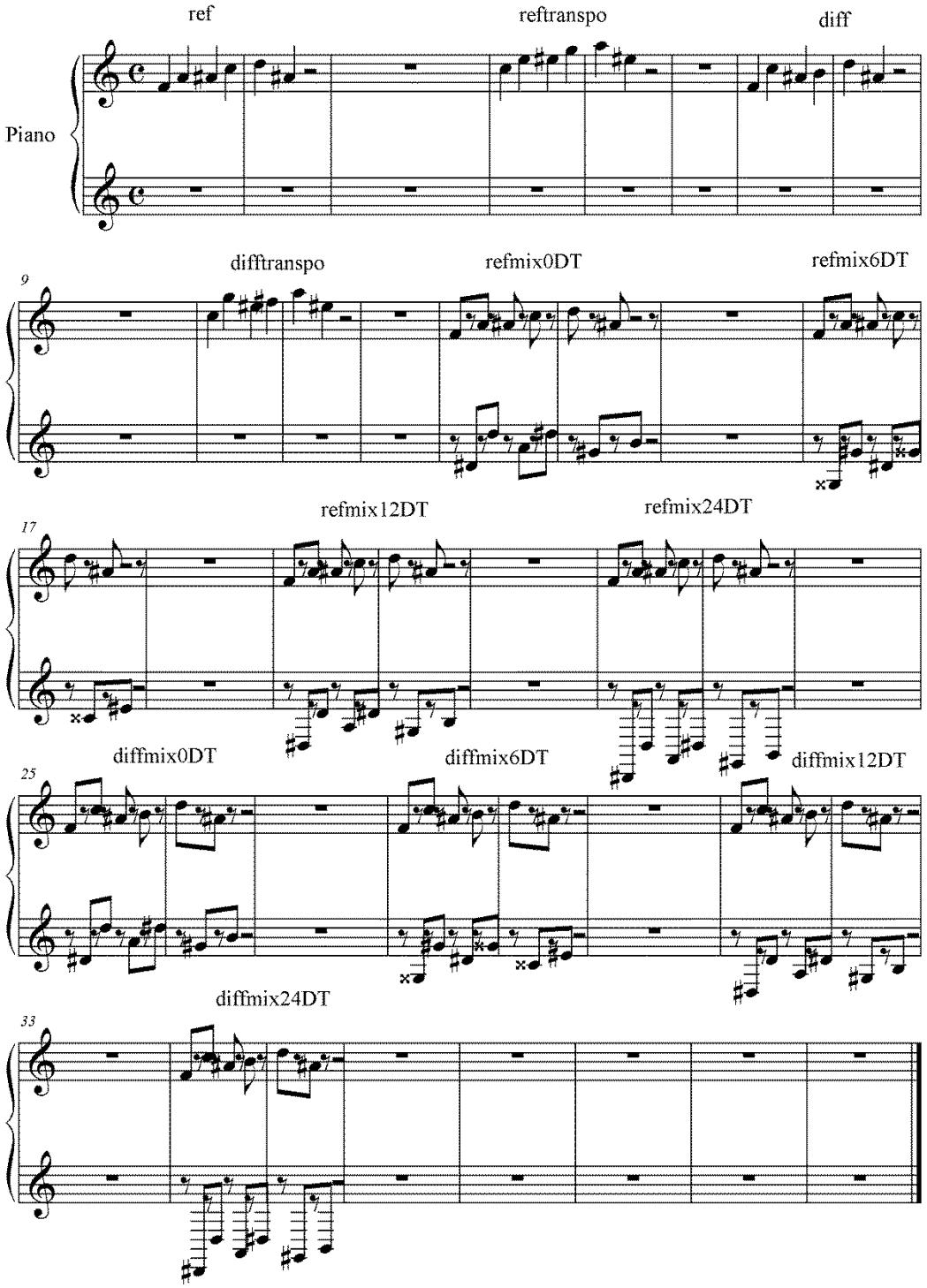
Mélodie 31


ref
reftranspo
diff
Piano
9
difftranspo
refmix0DT
refmix6DT
17
refmix12DT
refmix12DT
25
diffmix0DT
diffmix6DT
diffmix12DT
33
diffmix24DT

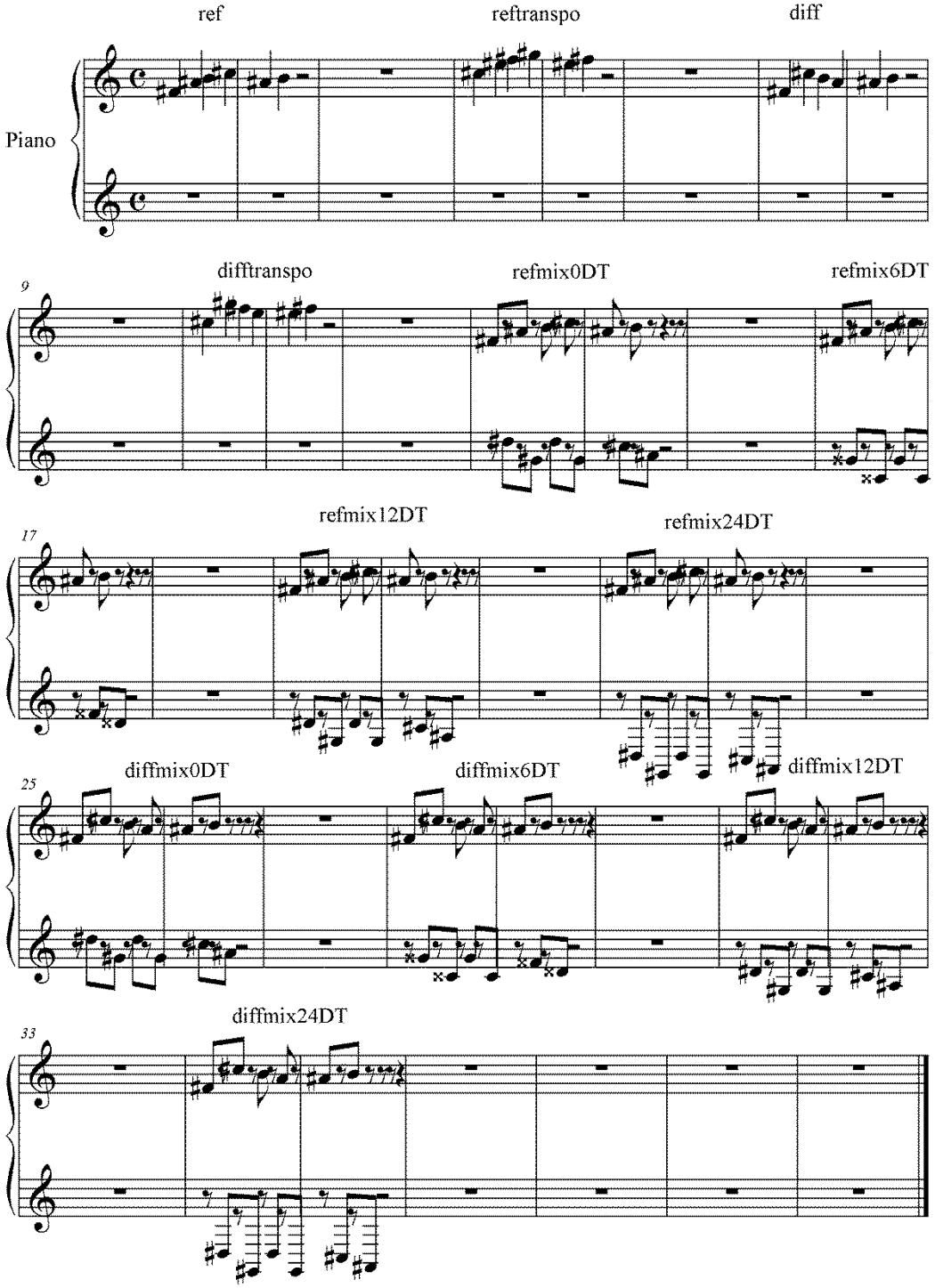
Mélodie 32


ref
reftranspo
diff
Piano
9
difftranspo
refmix0DT
refmix6DT
17
refmix12DT
refmix24DT
25
diffmix0DT
diffmix6DT
diffmix12DT
33
diffmix24DT

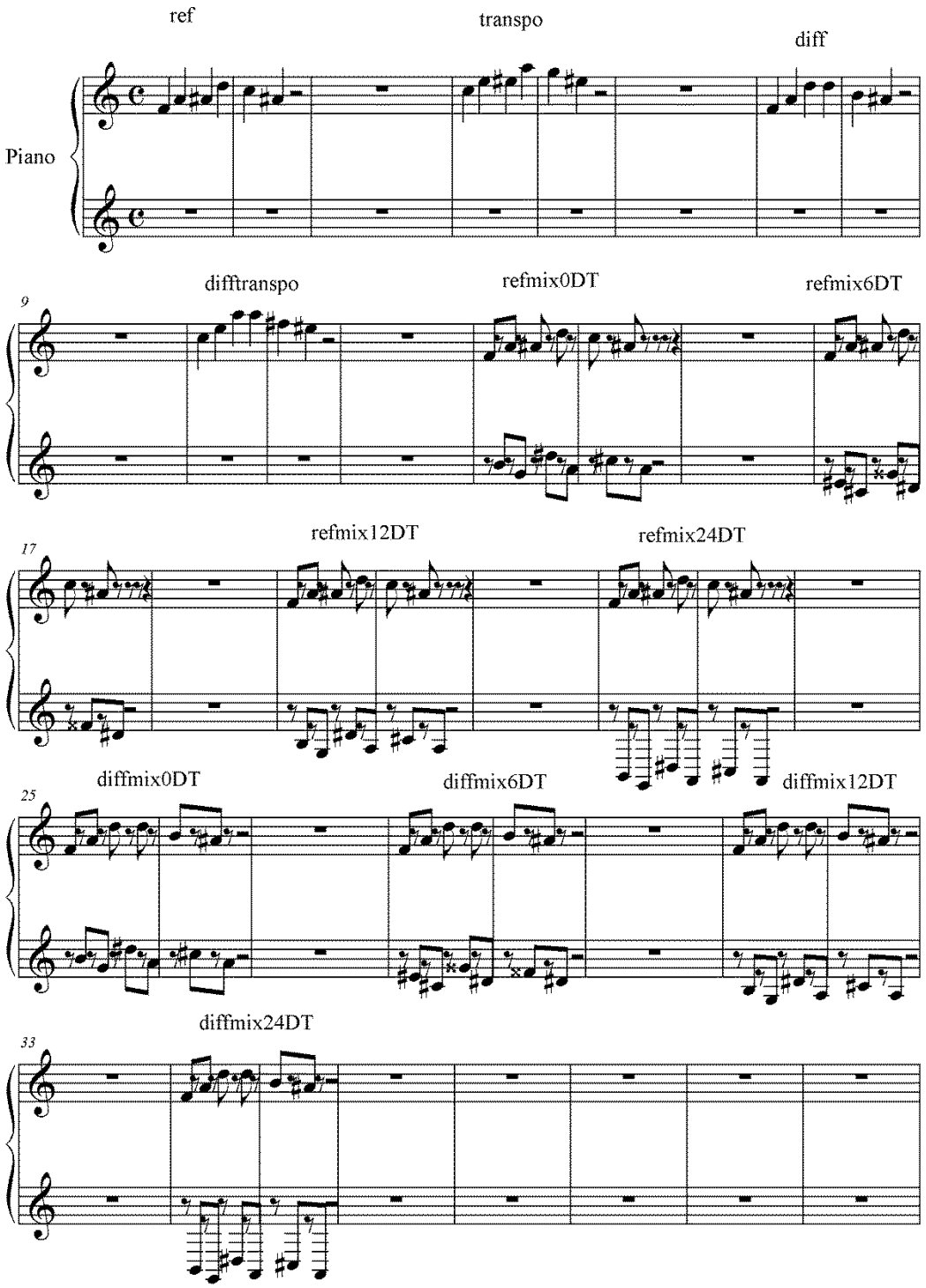
Mélodie 33


ref
reftranspo
diff
Piano
difftranspo
refmix0DT
refmix6DT
refmix12DT
refmix24DT
diffmix0DT
diffmix6DT
diffmix12DT
diffmix24DT

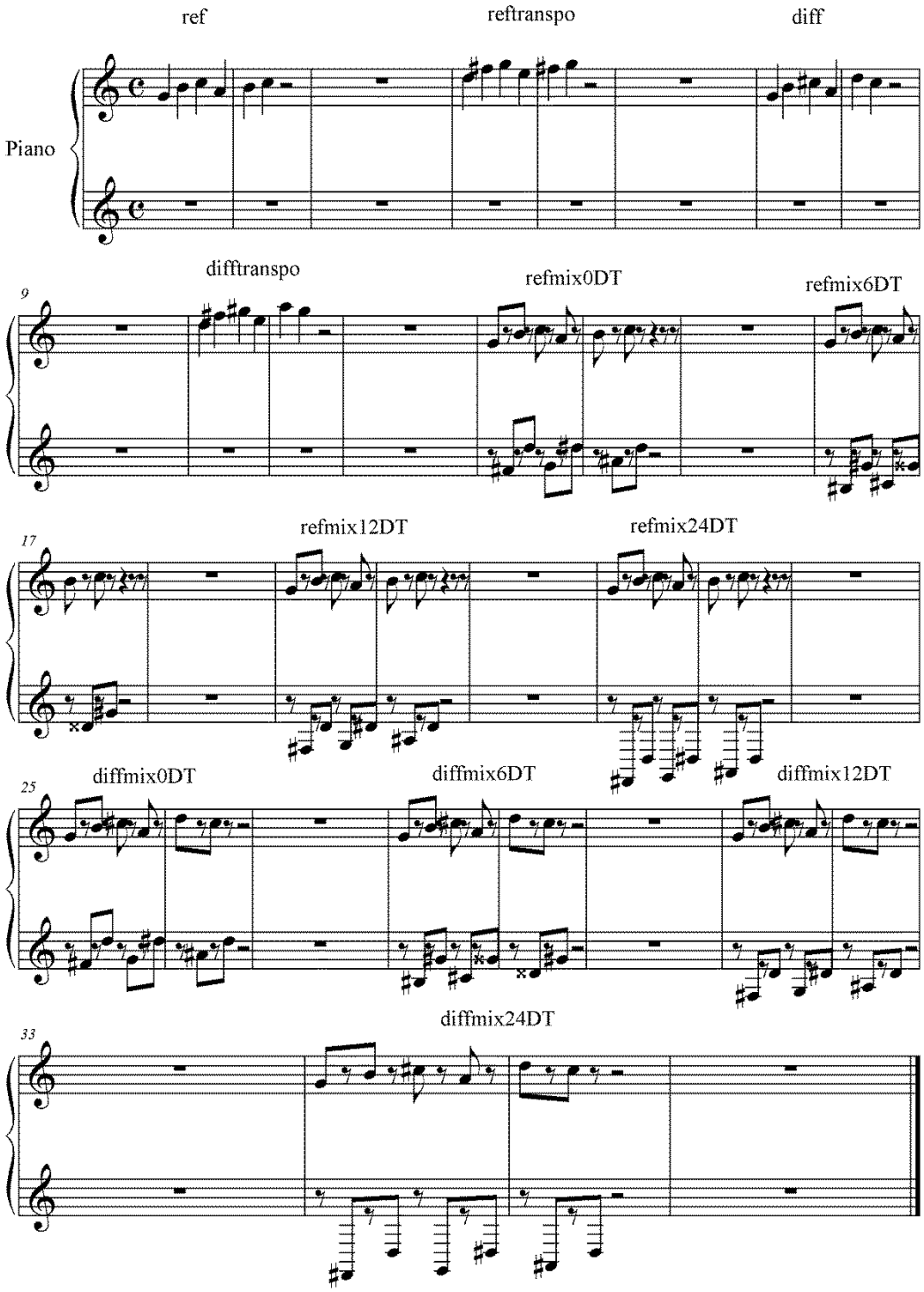
Mélodie 34


ref
reftranspo
diff
Piano
9
difftranspo
refmix0DT
refmix6DT
17
refmix12DT
refmix24DT
25
diffmix0DT
diffmix6DT
diffmix12DT
33
diffmix24DT

Mélodie 35


ref
transpo
diff
Piano
9
difftranspo
refmix0DT
refmix6DT
17
refmix12DT
refmix24DT
25
diffmix0DT
diffmix6DT
diffmix12DT
33
diffmix24DT

Mélodie 36


ref
reftranspo
diff
Piano
difftranspo
refmix0DT
refmix6DT
refmix12DT
refmix24DT
diffmix0DT
diffmix6DT
diffmix12DT
diffmix24DT

V. Questionnaire de synesthésie

Ce questionnaire a été fourni par Jean-Michel Hupé.

Quelques infos …

Définition

Les 'synesthésies' désignent des particularités partagées par une minorité importante de la population (sans doute entre 1 à 10 personnes sur 100). Le mot synesthésie signifie 'mélange des sens' et désigne d'abord des phénomènes plurisensoriels, comme lorsque l'écoute de sons s'accompagne d'une expérience visuelle (en l'absence de stimulation visuelle). C'est ce qu'on appelle « l'audition colorée ». Par extension, on parle de synesthésie pour « toute qualité sensorielle ou représentationnelle, cognitive ou affective, à condition qu'elle soit additionnelle, arbitraire, idiosyncrasique et automatique ».

But de ce questionnaire

Il existe de très nombreuses formes de synesthésies. Il est possible d'en avoir aucune, une seule, ou plusieurs. Ce questionnaire m'aidera à identifier si vous possédez une ou plusieurs formes de synesthésies. Les questions ne correspondent pas forcément à votre expérience personnelle, subjective : n'hésitez pas à développer ou préciser une réponse, ou à rajouter des commentaires. Le but de ce questionnaire est de recueillir vos impressions, non pas de vous faire rentrer dans un cadre.

Vos coordonnées

(n'oubliez pas de m'indiquer au moins dans quelle ville/région vous habitez)

Nom / Prénom ……
Date de naissance ……
Sexe ……
email ……

Synesthésies possibles (liste non exhaustive)

Graphèmes/couleurs

Est-ce que vous associez des couleurs aux chiffres ? ……
Est-ce que vous associez des couleurs aux lettres de l'alphabet ? ……

Est-ce que vous associez des couleurs à des mots ? ……
Est-ce que vous associez des couleurs aux jours de la semaine ou aux mois de l'année ? ……

Formes numériques

Les nombres sont-ils organisés dans l'espace ? ……
Des séries temporelles (jours de la semaine, mois, périodes de l'année, etc…) sont-elles organisées dans l'espace ? ……

Personnifications

Les chiffres ont-ils un genre (masculin/féminin) ou une personnalité ? ……
Les lettres de l'alphabet ont-elles un genre ou une personnalité ? ……

Synesthésies plurisensorielles

Est-ce qu'une stimulation dans une modalité sensorielle évoque une sensation ou une association forte dans une autre modalité sensorielle ? Afin de vous aider à préciser vous pouvez vous inspirer des exemples ci-dessous.

Par exemple, si vous pensez avoir une 'audition colorée', vous pouvez vous poser les questions suivantes :
Est-ce que des sons évoquent des couleurs ? ……
Ou bien des formes visuelles (colorées ou pas, statiques ou en mouvement) ? ……
Si oui, pour quels sons ? ……
Les notes de musique ? ……
Le timbre des instruments de musique ? ……
Des morceaux de musique ? ……
Les voix des personnes ? ……
Quand vous entendez des mots ? (mais pas quand vous les lisez) ……
D'autres sons, naturels ou artificiels ? ……

Il y a 5 modalités sensorielles : vision, audition, touché, odorat, goût. Les possibilités sont donc nombreuses. Par exemple :

Est-ce que les mots ont un goût ? ……
Est-ce que les notes de musique ont un goût ? ……
Est-ce que les goûts ont une forme ? ……
Est-ce que des images, statiques ou en mouvement, déclenchent une expérience auditive ? ……
Etc ……

Autres synesthésies

Est-ce que certaines émotions s'accompagnent de sensations colorées ? ……

Est-ce que vous associez des couleurs aux gens ? ……
Si oui :
A quelles personnes ? ……
Celles que vous connaissez ? ……
Est-ce que vous associez toujours la même couleur à une personne ? ……
Est-ce que vous associez une couleur en fonction de ce que vous ressentez pour cette personne ? ……
Est-ce que vous associez une couleur en fonction de ce que cette personne ressent pour vous ? ……
Percevez-vous la couleur sur la personne (ou autour, etc… précisez !) ……

Caractéristiques de vos synesthésies

Certaines de ces questions sont surtout pertinentes pour les synesthésies graphèmes/couleur,, mais elles peuvent aussi convenir à d'autres types de synesthésie. Merci de tenter de répondre si cela vous inspire.

Pouvez-vous faire la liste des stimulations qui induisent des synesthésies, en précisant les synesthésies induites pour chaque stimulation ? Par exemple, pour les associations lettre/couleur, est-ce que tout l'alphabet est coloré ? ……
Pouvez-vous m'envoyer un document indiquant les associations, soit en utilisant la palette logicielle de votre ordinateur, soit sur une feuille de papier si c'est plus facile pour vous, puis en la scannant ou en me l'envoyant par courrier ? ……
Faites la même chose pour les chiffres, nombres, jours de la semaine, mots, etc… si justifié. ……

Associez-vous les couleurs :
Quand vous lisez les lettres (ou chiffres) ? ……
Quand vous les entendez ? ……
Quand vous les imaginez ? ……

Y-a-t-il des couleurs évoquées que vous n'avez jamais vues (réellement) ? ……
Les couleurs évoquées sont-elles différentes des vraies couleurs? ……

Tous les synesthètes n'associent pas de la même façon une couleur à des chiffres ou des lettres. Voici ci-dessous un certain nombre de propositions. Merci

d'indiquer si cela correspond ou non à votre expérience. N'hésitez pas à proposer d'autres formulations.

Une lettre (ou un chiffre) écrite à l'encre noire …

- a une couleur ('synesthésique') comme si elle avait été imprimée avec une encre de couleur. ……

- s'accompagne de couleur dans le monde externe (dans ce cas, où cela ? Sur la lettre, autour, devant vous, ailleurs ? Quelle forme ? Celle de la lettre, plus étendue ?) ……

Est-ce que vous diriez que vous "voyez" la couleur d'un chiffre ou d'une lettre ? ……

Est-ce que vous "voyez" la couleur (seulement) dans votre imagination ? ……

- sur un 'écran interne' ? ……
- avec une forme et / ou une étendue particulière ? ……

Vous ne voyez pas la couleur, mais vous pensez systématiquement à une couleur précise. ……

Vous ne voyez pas la couleur, mais vous avez la sensation forte de savoir quelle est la bonne couleur pour une lettre ou un chiffre. ……

Pour certaines lettres (ou chiffres), vous ne savez pas quelle est la bonne couleur, mais vous savez que certaines couleurs ne sont pas possibles. ……

Si vous voyez la couleur 'synesthésique' sur la lettre ou le chiffre qui l'évoque:
Pouvez-vous voir la couleur réelle avec laquelle est écrit le chiffre/la lettre? ……
Si oui, y-a-t-il conflit ? ……
Pouvez-vous voir les deux couleurs en même temps ? ……
Se mélangent-elles ? ……

Autres questions générales

Depuis quand avez-vous des synesthésies ? ……
Comment vous en êtes-vous rendu compte ? ……

Vos synesthésies sont-elles systématiques ? ……
Si non, quand se produisent-elles ? ……
Moment de la journée ? ……

Humeur particulière ? ……
Autres ? ……

Connaissez-vous des membres de votre famille qui sont synesthètes ? ……
Si oui,
précisez quel(s) type(s) ……
précisez les liens de parenté ……

Pensez-vous avoir une bonne mémoire visuelle ? ……
(par ex, une facilité à se souvenir de détails d'une image complexe vue une seule fois)

Lorsque vous imaginez ou pensez à quelque chose, diriez-vous qu'il vous arrive de le 'voir' ?
(par ex, ce que vous imaginez serait comme projeté sur un écran devant vous) ……

Rêvez-vous en couleur ? ……
Avez-vous dû réfléchir pour répondre à cette question ? ……

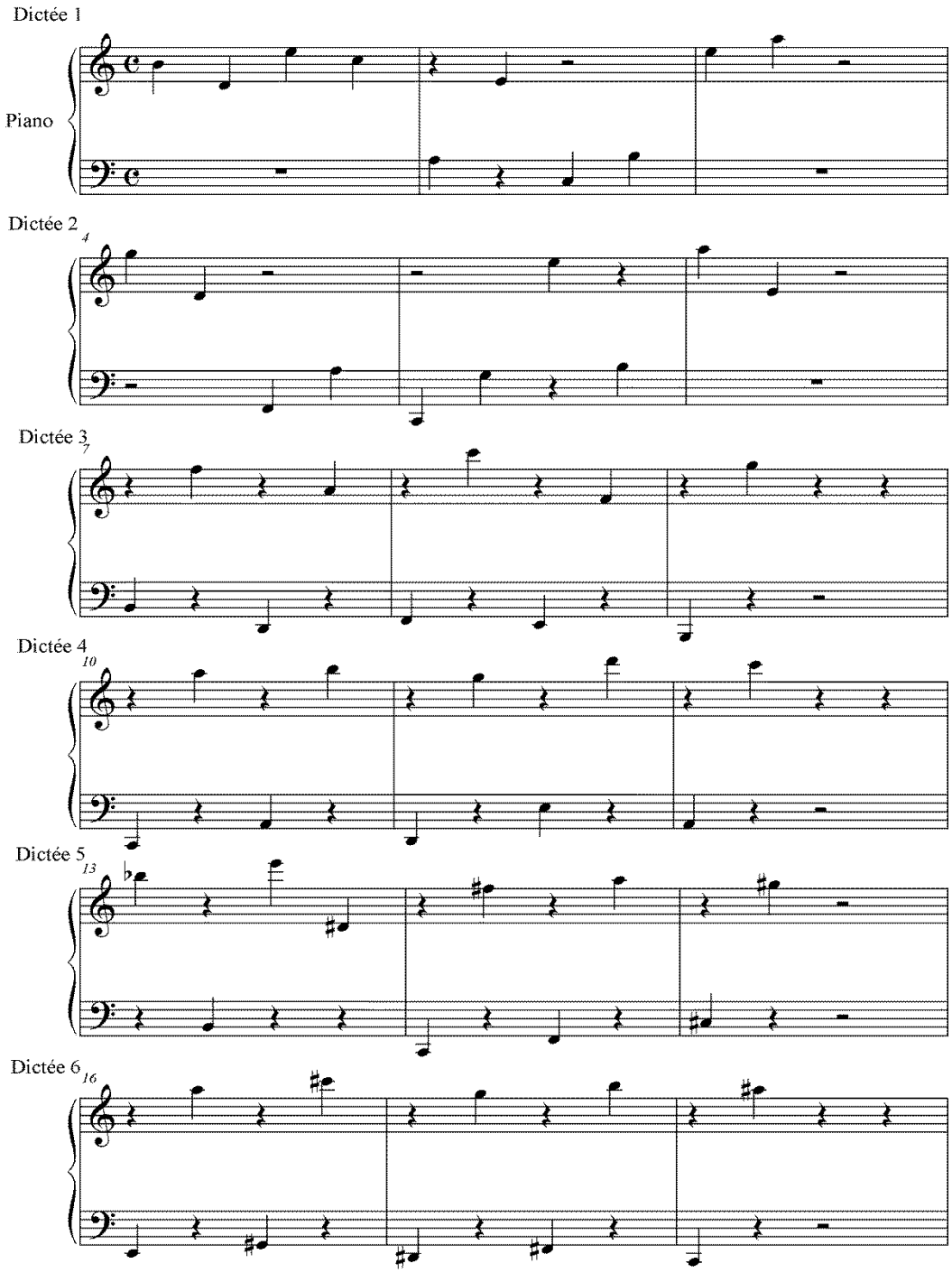
Est-ce qu'il vous arrive de souffrir de vos synesthésies ? ……
Pour quelles raisons ? ……

Considerez-vous vos synesthésies comme un avantage ? ……
Pour quelles raisons ? ……

Est-ce qu'il y a d'autres particularités que vous souhaiteriez mentionner ?

- en rapport avec les synesthésies ……

- a priori sans rapport avec les synesthésies mais on ne sait jamais ……

VI. Dictées musicales pour tester la possession de l'oreille absolue

Reprises de Vangenot (2000)