



**La perception auditive et le développement linguistique
chez les individus neurotypiques, présentant un trouble
du spectre autistique, ou ayant le syndrome
de Williams : le rôle de la prosodie**

Carline Bernard

► **To cite this version:**

Carline Bernard. La perception auditive et le développement linguistique chez les individus neurotypiques, présentant un trouble du spectre autistique, ou ayant le syndrome de Williams : le rôle de la prosodie. Sciences cognitives. Université Sorbonne Paris Cité, 2015. Français. NNT : 2015US-PCB188 . tel-01861679

HAL Id: tel-01861679

<https://theses.hal.science/tel-01861679>

Submitted on 24 Aug 2018

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

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



Thèse de doctorat en Sciences Cognitives

présentée par

Carline BERNARD

**La perception auditive et le développement linguistique
chez les individus neurotypiques, présentant un trouble du
spectre autistique, ou ayant le syndrome de Williams :
Le rôle de la prosodie**

Directrice de thèse : Judit GERVAIN

Co-Directeur de thèse : Thierry NAZZI

Ecole Doctorale : ED 261

« Cognition, Comportement, Conduites Humaines »

Présentée et soutenue publiquement le lundi 23 novembre 2015,
devant un jury composé de :

Agnès LACROIX (Rapporteur)
Richard DELORME (Rapporteur)
Franck RAMUS (Examineur)
Judit GERVAIN
Thierry NAZZI

RESUME

L'objectif de cette thèse était d'explorer la perception de la prosodie linguistique à différents niveaux de traitement (d'un processus de bas niveau purement acoustique, à un processus de haut niveau linguistique), dans trois populations : une population neurotypique, et deux populations atypiques que sont le Trouble du Spectre Autistique et le syndrome de Williams-Beuren.

La prosodie contient des informations lexicales, morphosyntaxiques et/ou pragmatiques dans toutes les langues du monde. Les manifestations acoustiques de la prosodie (variations de durée, d'intensité, de pitch) sont facilement disponibles dans le flux de parole, contrairement à certaines des propriétés structurelles plus abstraites qui lui sont corrélées. De ce fait, le traitement de la prosodie joue un rôle crucial durant l'acquisition du langage, en amorçant l'acquisition de ces propriétés abstraites. La perception de la prosodie et son rôle dans l'acquisition du langage est de mieux en mieux comprise dans développement typique. En revanche, on en sait très peu concernant le développement atypique. Deux groupes sont particulièrement intéressants car ils présentent des profils linguistiques relativement opposés : le trouble du spectre autistique (TSA) et le syndrome de Williams (SW). Les individus TSA sont connus pour avoir une altération qualitative de la communication (pouvant aller jusqu'à l'absence quasi-totale de langage) et des interactions sociales. Au contraire, les personnes SW présentent un langage assez développé et de bonnes capacités de communication sociale : leurs aptitudes langagières (la phonologie, la morphologie, la syntaxe) sont relativement préservées, bien que leur perception et production apparaissent souvent comme atypiques. De ce fait, comparer ces deux populations permet d'une part de tester des prédictions contrastées, et d'autre part de poser des questions de spécificité de déficit.

Le but de cette thèse était donc de tracer l'intégralité du territoire entre la perception acoustique de bas niveau et les fonctions linguistiques de la prosodie. Ce projet s'articulait en trois axes. D'une part, nous avons mesuré les seuils de discrimination auditive (Exp.1). Dans un second temps, nous avons testé la préférence pour le pattern prosodique de la langue maternelle (loi iambo-trochaïque, *iambic-trochaic law*, *ITL*) (Exp.2&3). Enfin, nous avons examiné les capacités de discrimination et la préférence dans le domaine syntagmatique (mécanisme de *bootstrapping*) (Exp.4). Pour ce faire, nous avons rencontré plus de 470 participants (dont plus de 170 participants TSA et 17 participants SW), âgés de 3 à 60 ans.

Les résultats obtenus corroborent et complètent la littérature pour le développement typique : nous confirmons d'une part le pattern développemental des seuils de discrimination auditive et leur amélioration avec l'âge chez des participants francophones (Exp.1), et d'autre part que les enfants, adolescents et adultes francophones sont sensibles à l'ITL (Exp.2&3). Par ailleurs, nous mettons en évidence un mécanisme de bootstrapping sensible à la langue maternelle, en montrant une discrimination des syntagmes basée sur la fréquence des syllabes plus que sur la prosodie des mots (Exp.4). De plus, nos résultats

mettent en évidence une perception différente de la prosodie dans nos deux populations atypiques. En effet, les participants TSA ayant un autisme autre que le syndrome d'Asperger semblent avoir des seuils de discrimination moins bons que les typiques (Exp.1). De plus, seuls les individus ayant le syndrome d'Asperger semblent être sensibles à l'ITL pour l'indice prosodique de durée (indice le plus pertinent pour l'apprentissage du français chez les bébés), contrairement aux autres participants TSA et aux participants SW.

Cette thèse apporte donc de nouvelles données concernant le développement typique, sur un large échantillon d'âge, et contribue à la compréhension de l'origine du développement atypique du langage de certaines populations.

MOTS CLEFS

Langage, Prosodie, Trouble du Spectre Autistique, Syndrome de Williams, Perception, Loi iambo-trochaïque.

ABSTRACT

The purpose of this thesis was to explore the perception of linguistic prosody at different levels of processing (from a purely acoustic low-level processing to a more abstract and linguistic level), in three different populations: neurotypical participants, participants on the Autism Spectrum and participants with Williams-Beuren syndrome.

Linguistic prosody carries lexical, morphosyntactic and pragmatic information in all languages of the worlds. The acoustical correlates of prosody, i.e. variations in duration, intensity, and pitch, are easily available in the speech input, unless more abstract structural/grammatical properties that are correlated with prosody. Prosodic processing plays a crucial role during language acquisition, as it has been claimed to help infants learn (bootstrap) the grammatical properties it is correlated with. Prosody perception and its role during language acquisition is more and more understood in typical development. By contrast, very little is known about atypical development. Two groups are particularly interesting because they present relatively opposite linguistic profiles: Autism Spectrum Disorder (ASD) and Williams syndrome (WS). Individuals with ASD are known to have qualitative impairments of communication and social interaction, sometimes even lacking language altogether. By contrast, people with WS have relatively well-developed language and good social communication skills: their language abilities (phonology, morphology, syntax) are relatively preserved, although their perception and production often appear to be atypical. Comparing these two populations thus allows us to test different predictions of the prosodic bootstrapping theory, and to ask questions specific to each of these two deficits.

The aim of the thesis was thus to chart the links between low-level acoustic perception and the perception of prosodic and grammatical features. This project was divided into three main parts. First, we measured auditory discrimination thresholds (Exp.1). Second, we tested preferences in prosodic grouping (as defined by the iambic-trochaic law) for pure tones as well as for linguistic stimuli (Exp.2&3). Third, we investigated discrimination abilities and preference the phrasal domain, testing whether prosody serves as a bootstrapping cue for the basic word order of the native language (Exp.4). In the whole study, we tested more than 470 participants (of which more than 170 ASD participants and 17 WS participants), aged from 3 to 60 years old.

Our results support and extend the literature for typical development: first we confirm the developmental trends for discrimination thresholds and their improvement with age, in French-speaking participants (Exp.1); second, we confirm that French-speaking children, adolescents and adults are sensitive to prosodic grouping (Exp.2&3). Furthermore, we show evidence for bootstrapping that is more sensitive to word frequency than to prosody (Exp.4). In addition, our results show that prosodic perception in our two atypical populations is different from that of typical participants. Indeed, individuals with ASD having autism (but not Asperger's syndrome) seem to have higher discrimination thresholds compared to typical controls (Exp.1). Moreover, only individuals with Asperger's syndrome,

but not other atypical participants seem to be sensitive to prosodic grouping for the duration cue (the most relevant prosodic cue for language acquisition in French).

This thesis thus brings new data concerning typical development in a large age sample, and contributes to our understanding of atypical language development found in autism and Williams syndrome.

KEY WORDS

Language, Prosody, Autism Spectrum Disorders, Williams syndrome, Perception, Iambic-Trochaic Law.

LISTE DES PUBLICATIONS

Bernard, C., & Gervain, J. (2012). Prosodic Cues to Word Order: What Level of Representation? *Frontiers in Psychology*, 3:451. doi: 10.3389/fpsyg.2012.00451

Szendrői, K., **Bernard, C.,** Berger, F., Gervain, J., Höhle, B. (under review). Acquisition of prosodic focus marking by English, French and German 3-, 4-, 5- and 6-year-olds. *Journal of Child Language*.

TABLE DES MATIERES

1. CHAPITRE 1 : INTRODUCTION GENERALE.....	1
1.1 L'IMPORTANCE DE LA PROSODIE POUR LE TRAITEMENT ET L'ACQUISITION DU LANGAGE.....	5
1.1.1 <i>La prosodie</i>	7
1.1.2 <i>L'hypothèse du bootstrapping prosodique</i>	7
1.1.2.1 Les différents mécanismes de bootstrapping.....	7
1.1.2.2 Le bootstrapping prosodique de l'ordre des mots	10
1.1.3 <i>La loi iambo-trochaïque</i>	12
1.2 LE DEVELOPPEMENT DE L'AUDITION ET DES SEUILS DE DISCRIMINATION	16
1.3 LA PERCEPTION DE LA PROSODIE DANS LE DEVELOPPEMENT TYPIQUE	20
1.3.1 <i>Chez le nourrisson</i>	20
1.3.2 <i>Chez l'adulte</i>	24
1.4 LES CAPACITES AUDITIVES ET LA PERCEPTION DE LA PROSODIE DANS LE DEVELOPPEMENT ATYPIQUE	27
1.4.1 <i>Le Trouble du Spectre Autistique (TSA)</i>	27
1.4.1.1 Description du trouble.....	27
1.4.1.2 La perception auditive dans le TSA.....	29
1.4.2 <i>Le syndrome de Williams-Beuren (SW)</i>	35
1.4.2.1 Description du syndrome.....	35
1.4.2.2 La perception auditive dans le SW	38
1.5 OBJECTIFS DE LA THESE.....	43
2. CHAPITRE 2 : POPULATIONS.....	48
2.1 PARTICIPANTS.....	49
2.1.1 <i>Participants neurotypiques (NT)</i>	49
2.1.2 <i>Participants présentant un Trouble du Spectre Autistique (TSA)</i>	51
2.1.2.1 Critères diagnostiques d'inclusion	52
2.1.2.2 Choix des participants	53
2.1.3 <i>Participants ayant le syndrome de Williams-Beuren (SW)</i>	54
2.1.4 <i>Appariement des populations</i>	54
2.2 EVALUATION DES CAPACITES COGNITIVES.....	55
2.2.1 <i>Participants NT</i>	56
2.2.2 <i>Participants TSA</i>	58
2.2.3 <i>Participants SW</i>	60
2.3 APPRECIATION DE L'AUDITION, DES LANGUES ET DES CAPACITES MUSICALES	61
2.3.1 <i>Participants NT</i>	64
2.3.1.1 Otites	64
2.3.1.2 Hyperacousie	64

2.3.1.3	Expérience musicale.....	65
2.3.1.4	Bilinguisme.....	65
2.3.1.5	Développement linguistique.....	65
2.3.2	<i>Participants TSA</i>	67
2.3.2.1	Otites.....	67
2.3.2.2	Hyperacousie.....	67
2.3.2.3	Expérience musicale.....	67
2.3.2.4	Bilinguisme.....	68
2.3.2.5	Développement linguistique.....	68
2.3.3	<i>Participants SW</i>	69
2.3.3.1	Otites.....	69
2.3.3.2	Hyperacousie.....	69
2.3.3.3	Expérience musicale.....	70
2.3.3.4	Bilinguisme.....	70
2.3.3.5	Développement linguistique.....	70
2.4	INFORMATIONS DIVERSES.....	70

3. CHAPITRE 3 (EXPERIENCE 1) : PSYCHOACOUSTIQUE, ETUDE DES SEUILS DE

DISCRIMINATION AUDITIVE		73
3.1	INTRODUCTION	74
3.1.1	<i>Prédictions</i>	74
3.1.2	<i>Motivation des tâches</i>	76
3.1.3	<i>Evaluation des données : spécificités liées aux jeunes enfants et aux participants atypiques</i>	77
3.1.4	<i>Analyse des données</i>	78
3.2	MATERIEL ET METHODE.....	79
3.2.1	<i>Stimuli</i>	79
3.2.2	<i>Procédure</i>	80
3.3	PARTICIPANTS.....	82
3.3.1	<i>Participants NT</i>	82
3.3.2	<i>Participants TSA</i>	82
3.3.3	<i>Participants SW</i>	83
3.4	RESULTATS	83
3.4.1	<i>Participants NT</i>	83
3.4.1.1	Analyse préliminaire des seuils en fonction de l'ordre de présentation.....	83
3.4.1.2	Analyse des profils.....	84
3.4.1.3	Calcul des seuils de discrimination auditive.....	87
3.4.1.4	Analyse des seuils en fonction des profils.....	88
3.4.1.5	Ratios de Weber	93
3.4.1.6	Analyse des seuils en fonction de l'âge.....	97

3.4.1.7	Analyse des seuils entre eux	102
3.4.2	<i>Participants TSA</i>	105
3.4.2.1	Analyse des seuils en fonction de l'ordre de présentation	105
3.4.2.2	Analyse des seuils en fonction des profils.....	106
3.4.2.3	Ratio de Weber	113
3.4.2.4	Analyse des seuils en fonction de l'âge et du type d'autisme	116
3.4.2.5	Analyse des seuils entre eux	119
3.4.3	<i>Participants SW</i>.....	125
3.4.3.1	Analyse des seuils en fonction de l'ordre de présentation	125
3.4.3.2	Analyse des seuils en fonction des profils.....	125
3.4.3.3	Ratios de Weber	129
3.4.3.4	Analyse des seuils en fonction de l'âge.....	130
3.4.3.5	Analyse des seuils entre eux	132
3.4.4	<i>Comparaison entre les groupes</i>.....	132
3.4.4.1	Analyse des profils	133
3.4.4.2	Analyse des seuils	135
3.5	DISCUSSION INTERMEDIAIRE.....	137
4.	CHAPITRE 4 (EXPERIENCE 2) : GROUPEMENTS DE TONS PURS SELON LA LOI IAMBO-TROCHAÏQUE.....	144
4.1	INTRODUCTION	145
4.2	MATERIEL ET METHODE.....	147
4.2.1	<i>Stimuli</i>	147
4.2.1.1	Durée	147
4.2.1.2	Intensité	148
4.2.1.3	Pitch	148
4.2.2	<i>Procédure</i>	150
4.3	PARTICIPANTS.....	152
4.3.1	<i>Participants NT</i>	152
4.3.2	<i>Participants TSA</i>	153
4.4	RESULTATS	153
4.4.1	<i>Participants NT</i>	153
4.4.1.1	Analyse des groupements iambo-trochaïques (analyse principale)	155
4.4.1.2	Analyse des réponses selon l'ordre de présentation des conditions	157
4.4.1.3	Analyse des réponses selon le type de séquence	157
4.4.1.4	Analyse des réponses selon le ratio	158
4.4.1.5	Analyse des réponses selon l'âge	159
4.4.1.6	Comparaison des conditions.....	160
4.4.1.7	Analyse des réponses selon les seuils de discrimination auditive	161
4.4.2	<i>Participants TSA</i>	163
4.4.2.1	Analyse des groupements iambo-trochaïques (analyse principale)	165

4.4.2.2	Analyse des réponses selon l'ordre de présentation des conditions	168
4.4.2.3	Analyse des réponses selon le type de séquence	168
4.4.2.4	Analyse des réponses selon le ratio	169
4.4.2.5	Analyse des réponses selon l'âge	170
4.4.2.6	Comparaison des conditions.....	172
4.4.2.7	Analyse des réponses selon les seuils de discrimination auditive	173
4.4.3	<i>Comparaisons entre les groupes.....</i>	176
4.5	DISCUSSION INTERMEDIAIRE.....	177

5. CHAPITRE 5 (EXPERIENCE 3) : GROUPEMENTS DE SYLLABES SELON LA LOI IAMBO-TROCHAÏQUE..... 182

5.1	INTRODUCTION	183
5.2	MATERIEL ET METHODE.....	183
5.2.1	<i>Stimuli.....</i>	183
5.2.2	<i>Durée.....</i>	184
5.2.3	<i>Intensité.....</i>	184
5.2.4	<i>Pitch.....</i>	184
5.3	PROCEDURE	186
5.4	PARTICIPANTS.....	187
5.4.1	<i>Participants NT.....</i>	187
5.4.2	<i>Participants TSA.....</i>	187
5.4.3	<i>Participants SW.....</i>	188
5.5	RESULTATS	188
5.5.1	<i>Participants NT.....</i>	188
5.5.1.1	Analyse des groupements iambo-trochaïques (analyse principale)	190
5.5.1.2	Analyse des réponses selon l'ordre de présentation des conditions	191
5.5.1.3	Analyse des réponses selon le type de liste.....	192
5.5.1.4	Analyse des réponses selon le nombre d'essais	192
5.5.1.5	Analyse des réponses selon le ratio	193
5.5.1.6	Analyse des indices entre eux	195
5.5.1.7	Analyse des réponses selon les seuils de discrimination auditive	195
5.5.2	<i>Participants TSA.....</i>	199
5.5.2.1	Analyse des groupements iambo-trochaïques (analyse principale)	200
5.5.2.2	Analyse des réponses selon l'ordre de présentation des conditions	201
5.5.2.3	Analyse des réponses selon le type de liste.....	201
5.5.2.4	Analyse des réponses selon le nombre d'essais	202
5.5.2.5	Analyse des réponses selon le ratio	202
5.5.2.6	Analyse des réponses selon l'âge	204
5.5.2.7	Analyse des indices entre eux	204
5.5.2.8	Analyse des réponses selon les seuils de discrimination auditive	205
5.5.3	<i>Participants SW.....</i>	208

5.5.3.1	Analyse des groupements iambo-trochaïques (analyse principale)	209
5.5.3.2	Analyse des réponses selon l'ordre de présentation des conditions	210
5.5.3.3	Analyse des réponses selon le type de liste.....	210
5.5.3.4	Analyse des réponses selon le nombre d'essais	211
5.5.3.5	Analyse des réponses selon le ratio	211
5.5.3.6	Analyse des réponses selon l'âge	212
5.5.3.7	Analyse des indices entre eux	214
5.5.3.8	Analyse des réponses selon les seuils de discrimination auditive	214
5.5.4	<i>Comparaisons entre les groupes</i>	216
5.5.4.1	Analyse des réponses selon le nombre d'essais	216
5.5.4.2	Analyse des groupements iambo-trochaïques.....	218
5.6	DISCUSSION INTERMEDIAIRE.....	220
6.	CHAPITRE 6 (EXPERIENCE 4) : « BOOTSTRAPPING » DE L'ORDRE DES MOTS	225
6.1	INTRODUCTION	226
6.2	MATERIEL ET METHODE.....	227
6.2.1	<i>Stimuli</i>	227
6.2.2	<i>Procédure</i>	229
6.3	PARTICIPANTS.....	230
6.3.1	<i>Participants NT</i>	230
6.3.2	<i>Participants TSA</i>	230
6.3.3	<i>Participants SW</i>	231
6.4	RESULTATS	231
6.4.1	<i>Participants NT</i>	231
6.4.1.1	Analyse de la segmentation (analyse principale)	231
6.4.1.2	Analyse des réponses selon l'âge	232
6.4.1.3	Analyse des réponses selon les seuils de discrimination auditive	233
6.4.2	<i>Participants TSA</i>	234
6.4.2.1	Analyse de la segmentation (analyse principale)	234
6.4.2.2	Analyse des réponses selon l'âge	236
6.4.2.3	Analyse des réponses selon les seuils de discrimination auditive	237
6.4.3	<i>Participants SW</i>	238
6.4.3.1	Analyse de la segmentation (analyse principale)	238
6.4.3.2	Analyse des réponses selon l'âge	240
6.4.3.3	Analyse des réponses selon les seuils de discrimination auditive	241
6.4.4	<i>Comparaisons entre les groupes</i>	242
6.5	DISCUSSION INTERMEDIAIRE.....	243
7.	CHAPITRE 7 : VARIABILITE INTERINDIVIDUELLE, QUELS FACTEURS EXPLICATIFS ?	247
7.1	INTRODUCTION	248

7.2	ANALYSES.....	249
7.3	RESULTATS	251
7.3.1	<i>Participants NT</i>	251
7.3.2	<i>Participants TSA</i>	252
7.3.2.1	Expérience 1 : étude des seuils de discrimination auditive	252
7.3.2.2	Expérience 2 : étude de la sensibilité à l'ITL avec des tons purs.....	254
7.3.2.3	Expérience 3 : étude de la sensibilité à l'ITL avec des pseudo-mots	255
7.3.2.4	Expérience 4 : étude du mécanisme de bootstrapping prosodique.....	255
7.3.3	<i>Participants SW</i>	256
7.3.3.1	Expérience 1 : étude des seuils de discrimination auditive	256
7.3.3.2	Expérience 3 : étude de la sensibilité à l'ITL avec des pseudo-mots	257
7.4	DISCUSSION INTERMEDIAIRE.....	258
8.	CHAPITRE 8 : DISCUSSION GENERALE	260
8.1	SYNTHESE ET DISCUSSION DES RESULTATS	263
8.1.1	<i>Les seuils de discrimination auditive et les profils comportementaux varient en fonction de l'âge et du type.....</i>	<i>263</i>
8.1.2	<i>La loi iambo-trochaïque est sensible au type de stimuli.....</i>	<i>269</i>
8.1.3	<i>Le mécanisme de bootstrapping serait-il moins efficace dès l'âge de trois ans ?.....</i>	<i>274</i>
8.1.4	<i>En somme, comment se comporte chacun des groupes atypiques ?.....</i>	<i>278</i>
8.1.5	<i>L'amorçage prosodique de la langue maternelle</i>	<i>281</i>
8.2	LIMITES DE L'ETUDE	281
8.3	CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	284
9.	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	287
10.	ANNEXES.....	314
11.	ARTICLE PUBLIE	325

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1-1 : CORRELATION ET MECANISME DE BOOTSTRAPPING ENTRE LES PROPRIETES PROSODIQUES, FREQUENTIELLES, ET SYNTAXIQUES ; EXEMPLE EN FRANÇAIS LORSQU'UN BEBE ENTEND LA PHRASE « LE CHAT A MANGE LA SOURIS. » (ACC. = ACCENTUE).....	11
FIGURE 1-2 : GROUPEMENTS IAMBIQUES ET TROCHAÏQUES POUR LES TROIS INDICES ACOUSTIQUES (DUREE, INTENSITE, ET PITCH). LES TRAIS PLUS EPAIS REPRESENTENT LES BIAIS DE GROUPEMENT SELON LA LOI IAMBO-TROCHAÏQUE.....	14
FIGURE 1-3 : MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES SEUILS DE DISCRIMINATION MOYENS, POUR DES FREQUENCES DE REFERENCE DE 100 Hz (200-MS TONES), DE 150 Hz (50-MS TONES) ET DE 200 Hz (20-MS TONES), POUR DES ENFANTS DE 5 A 11 ANS ET POUR DES ADULTES (FIGURE ISSUE DE THOMPSON ET AL., 1999).....	18
FIGURE 1-4 : PHOTOGRAPHIE DE QUATRE PATIENTS AYANT LE SYNDROME DE WILLIAMS, OBSERVES PAR LE DR WILLIAMS (PHOTO ISSUE DE WILLIAMS ET AL., 1961).....	36
FIGURE 1-5 : EXEMPLE D'IMAGES UTILISEES DANS L'ETUDE DE PLESA SKWERER ET AL. (2007). <u>A GAUCHE</u> , LE MOT « MAKE UP » ACCENTUE SUR LA PREMIERE SYLLABE, SIGNIFIANT « MAQUILLAGE ». <u>A DROITE</u> , LE MOT « MAKE UP » ACCENTUE SUR LA DEUXIEME SYLLABE, SIGNIFIANT « FAIRE LA PAIX ». ILLUSTRATION ISSUE DE PLESA SKWERER ET AL. (2007).	41
FIGURE 2-1 : DISTRIBUTION OBSERVEE DES QIT DES PARTICIPANTS NT AYANT PASSE L'EVALUATION COGNITIVE (EN ROUGE), COMPARATIVEMENT A LA DISTRIBUTION THEORIQUE ATTENDUE DANS LA POPULATION GENERALE (EN GRIS).	57
FIGURE 2-2 : DISTRIBUTION OBSERVEE DES QIT DES PARTICIPANTS TSA AYANT PASSE L'EVALUATION COGNITIVE (EN GRIS FONCE), AINSI QUE DES DEUX SOUS-GROUPES SYNDROME D'ASPERGER (EN VIOLET) ET AUTISME VERBAL (EN BLEU), COMPARATIVEMENT A LA DISTRIBUTION THEORIQUE ATTENDUE DANS LA POPULATION GENERALE (EN GRIS CLAIR)..	59
FIGURE 2-3 : DISTRIBUTION OBSERVEE DES QIT DES PARTICIPANTS SW AYANT PASSE L'EVALUATION COGNITIVE (EN VERT), COMPARATIVEMENT A LA DISTRIBUTION THEORIQUE ATTENDUE DANS LA POPULATION SW GENERALE (EN GRIS).	61
FIGURE 2-4 : CHRONOLOGIE DES ACQUISITIONS DU LANGAGE, CHEZ L'ENFANT DE ZERO A TROIS ANS (SCHEMA ISSU DE INSERM, 2007).	66
FIGURE 3-1 : PROFILS COMPORTEMENTAUX OBSERVES POUR UNE TACHE DE DISCRIMINATION DU PITCH CHEZ DES ENFANTS DE 6 A 11 ANS, DANS L'EXPERIENCE DE MOORE ET AL. (2008).	78
FIGURE 3-2 : VISUEL DE LA « TACHE DES DINOS » (A) ET IMAGES DE FEEDBACK (B) CREEES POUR L'EXPERIENCE 1.....	81
FIGURE 3-3 : EXEMPLES DE PERFORMANCES SELON LES QUATRE TYPES DE PROFILS (A : « PERFORMANTS » ; B : « MOINS PERFORMANTS » ; C : « FLUCTUANTS » ; D : « NON CONFORMES »), POUR L'EXPERIENCE 1.	85
FIGURE 3-4 : BOITES A MOUSTACHES REPRESENTANT LA MOYENNE (EN ROUGE), LA MEDIANE, LE PREMIER QUARTILE, LE TROISIEME QUARTILE, LE MINIMUM ET LE MAXIMUM, DES SEUILS DE DISCRIMINATION DE LA DUREE (EN MSEC), SELON LA METHODE DE CALCUL UTILISEE (A, B OU C), EN FONCTION DES QUATRE TYPES DE PROFIL (« PERFORMANT », « MOINS PERFORMANT », « FLUCTUANT », ET « NON CONFORME »), POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS NT DE L'EXPERIENCE 1.....	90
FIGURE 3-5 : BOITES A MOUSTACHES REPRESENTANT LA MOYENNE (EN ROUGE), LA MEDIANE, LE PREMIER QUARTILE, LE TROISIEME QUARTILE, LE MINIMUM ET LE MAXIMUM, DES SEUILS DE DISCRIMINATION DU PITCH POUR LES BASSES FREQUENCES (EN HERZ), SELON LA METHODE DE CALCUL UTILISEE (A, B OU C), EN FONCTION DES QUATRE TYPES DE	

PROFIL (« PERFORMANT », « MOINS PERFORMANT », « FLUCTUANT », ET « NON CONFORME »), POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS NT DE L'EXPERIENCE 1.....	91
FIGURE 3-6 : BOITES A MOUSTACHES REPRESENTANT LA MOYENNE (EN ROUGE), LA MEDIANE, LE PREMIER QUARTILE, LE TROISIEME QUARTILE, LE MINIMUM ET LE MAXIMUM, DES SEUILS DE DISCRIMINATION DU PITCH POUR LES HAUTES FREQUENCES (EN HERZ), SELON LA METHODE DE CALCUL UTILISEE (A, B OU C), EN FONCTION DES QUATRE TYPES DE PROFIL (« PERFORMANT », « MOINS PERFORMANT », « FLUCTUANT », ET « NON CONFORME »), POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS NT DE L'EXPERIENCE 1.....	92
FIGURE 3-7 : REPRESENTATION DES SEUILS DE DISCRIMINATION DE LA DUREE (MOYENNE ET ECART-TYPE), PAR GROUPE D'AGE, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS NT DE L'EXPERIENCE 1.....	98
FIGURE 3-8 : REPRESENTATION DES SEUILS DE DISCRIMINATION DE LA DUREE POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS NT DE L'EXPERIENCE 1.....	99
FIGURE 3-9 : REPRESENTATION DES SEUILS DE DISCRIMINATION DU PITCH POUR LES BASSES FREQUENCES (MOYENNE ET ECART-TYPE), PAR GROUPE D'AGE, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS NT DE L'EXPERIENCE 1.....	100
FIGURE 3-10 : REPRESENTATION DES SEUILS DE DISCRIMINATION DU PITCH POUR LES BASSES FREQUENCES, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS NT DE L'EXPERIENCE 1.....	100
FIGURE 3-11 : REPRESENTATION DES SEUILS DE DISCRIMINATION DU PITCH POUR LES HAUTES FREQUENCES (MOYENNE ET ECART-TYPE), PAR GROUPE D'AGE, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS NT DE L'EXPERIENCE 1.....	101
FIGURE 3-12 : REPRESENTATION DES SEUILS DE DISCRIMINATION DU PITCH POUR LES HAUTES FREQUENCES, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS NT DE L'EXPERIENCE 1.....	101
FIGURE 3-13 : REPRESENTATION DES SEUILS DE DISCRIMINATION DU PITCH (A) POUR LES BASSES FREQUENCES EN FONCTION DU SEUIL DE DISCRIMINATION DE LA DUREE, (B) POUR LES HAUTES FREQUENCES EN FONCTION DU SEUIL DE DISCRIMINATION DE LA DUREE, ET (C) POUR LES HAUTES FREQUENCES EN FONCTION DU SEUIL DE DISCRIMINATION DES BASSES FREQUENCES, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS NT DE L'EXPERIENCE 1.	103
FIGURE 3-14 : REPRESENTATION DES SEUILS DE DISCRIMINATION DE LA DUREE, EN FONCTION DES TROIS METHODES DE CALCUL (A, B, ET C), POUR LES TROIS GROUPES DE PARTICIPANTS TSA (A) SYNDROME D'ASPERGER, (AV) AUTISME VERBAL, ET (ANV) AUTISME NON VERBAL, DE L'EXPERIENCE 1.....	108
FIGURE 3-15 : BOITES A MOUSTACHES REPRESENTANT LA MOYENNE (EN ROUGE), LA MEDIANE, LE PREMIER QUARTILE, LE TROISIEME QUARTILE, LE MINIMUM ET LE MAXIMUM, DES SEUILS DE DISCRIMINATION DE LA DUREE (EN MSEC), SELON LA METHODE DE CALCUL UTILISEE (A, B OU C), EN FONCTION DES QUATRE TYPES DE PROFIL (« PERFORMANT », « MOINS PERFORMANT », « FLUCTUANT », ET « NON CONFORME »), POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS TSA DE L'EXPERIENCE 1.....	109
FIGURE 3-16 : REPRESENTATION DES SEUILS DE DISCRIMINATION DU PITCH POUR LES BASSES FREQUENCES, EN FONCTION DES TROIS METHODES DE CALCUL (A, B, ET C), POUR LES TROIS GROUPES DE PARTICIPANTS TSA (A) SYNDROME D'ASPERGER, (AV) AUTISME VERBAL, ET (ANV) AUTISME NON VERBAL, DE L'EXPERIENCE 1.....	110
FIGURE 3-17 : BOITES A MOUSTACHES REPRESENTANT LA MOYENNE (EN ROUGE), LA MEDIANE, LE PREMIER QUARTILE, LE TROISIEME QUARTILE, LE MINIMUM ET LE MAXIMUM, DES SEUILS DE DISCRIMINATION DU PITCH POUR LES BASSES FREQUENCES (EN HERZ), SELON LA METHODE DE CALCUL UTILISEE (A, B OU C), EN FONCTION DES QUATRE TYPES DE PROFIL (« PERFORMANT », « MOINS PERFORMANT », « FLUCTUANT », ET « NON CONFORME »), POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS TSA DE L'EXPERIENCE 1.	111

FIGURE 3-18 : REPRESENTATION DES SEUILS DE DISCRIMINATION DU PITCH POUR LES HAUTES FREQUENCES, EN FONCTION DES TROIS METHODES DE CALCUL (A, B, ET C), POUR LES TROIS GROUPES DE PARTICIPANTS TSA (A) SYNDROME D'ASPERGER, (AV) AUTISME VERBAL, ET (ANV) AUTISME NON VERBAL, DE L'EXPERIENCE 1.....	112
FIGURE 3-19 : BOITES A MOUSTACHES REPRESENTANT LA MOYENNE (EN ROUGE), LA MEDIANE, LE PREMIER QUARTILE, LE TROISIEME QUARTILE, LE MINIMUM ET LE MAXIMUM, DES SEUILS DE DISCRIMINATION DU PITCH POUR LES HAUTES FREQUENCES (EN HERZ), SELON LA METHODE DE CALCUL UTILISEE (A, B OU C), EN FONCTION DES QUATRE TYPES DE PROFIL (« PERFORMANT », « MOINS PERFORMANT », « FLUCTUANT », ET « NON CONFORME »), POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS TSA DE L'EXPERIENCE 1.	113
FIGURE 3-20 : REPRESENTATION DES SEUILS DE DISCRIMINATION DE LA DUREE (EN MSEC), EN FONCTION DE L'AGE DES PARTICIPANTS TSA, POUR CHACUN DES TROIS GROUPES (A) SYNDROME D'ASPERGER, (AV) AUTISME VERBAL, ET (ANV) AUTISME NON VERBAL, POUR L'EXPERIENCE 1.	117
FIGURE 3-21 : REPRESENTATION DES SEUILS DE DISCRIMINATION DU PITCH POUR LES BASSES FREQUENCES (EN HERZ), EN FONCTION DE L'AGE DES PARTICIPANTS TSA, POUR CHACUN DES TROIS GROUPES (A) SYNDROME D'ASPERGER, (AV) AUTISME VERBAL, ET (ANV) AUTISME NON VERBAL, POUR L'EXPERIENCE 1.	118
FIGURE 3-22 : REPRESENTATION DES SEUILS DE DISCRIMINATION DU PITCH POUR LES HAUTES FREQUENCES (EN HERZ), EN FONCTION DE L'AGE DES PARTICIPANTS TSA, POUR CHACUN DES TROIS GROUPES (A) SYNDROME D'ASPERGER, (AV) AUTISME VERBAL, ET (ANV) AUTISME NON VERBAL, POUR L'EXPERIENCE 1.	119
FIGURE 3-23 : REPRESENTATION DES SEUILS DE DISCRIMINATION DU PITCH (A) POUR LES BASSES FREQUENCES EN FONCTION DU SEUIL DE DISCRIMINATION DE LA DUREE, (B) POUR LES HAUTES FREQUENCES EN FONCTION DU SEUIL DE DISCRIMINATION DE LA DUREE, ET (C) POUR LES HAUTES FREQUENCES EN FONCTION DU SEUIL DE DISCRIMINATION DES BASSES FREQUENCES, POUR LES PARTICIPANTS TSA DU GROUPE SYNDROME D'ASPERGER DE L'EXPERIENCE 1.....	120
FIGURE 3-24 : REPRESENTATION DES SEUILS DE DISCRIMINATION DU PITCH (A) POUR LES BASSES FREQUENCES EN FONCTION DU SEUIL DE DISCRIMINATION DE LA DUREE, (B) POUR LES HAUTES FREQUENCES EN FONCTION DU SEUIL DE DISCRIMINATION DE LA DUREE, ET (C) POUR LES HAUTES FREQUENCES EN FONCTION DU SEUIL DE DISCRIMINATION DES BASSES FREQUENCES, POUR LES PARTICIPANTS TSA DU GROUPE AUTISME VERBAL DE L'EXPERIENCE 1.....	122
FIGURE 3-25 : REPRESENTATION DES SEUILS DE DISCRIMINATION DU PITCH (A) POUR LES BASSES FREQUENCES EN FONCTION DU SEUIL DE DISCRIMINATION DE LA DUREE, (B) POUR LES HAUTES FREQUENCES EN FONCTION DU SEUIL DE DISCRIMINATION DE LA DUREE, ET (C) POUR LES HAUTES FREQUENCES EN FONCTION DU SEUIL DE DISCRIMINATION DES BASSES FREQUENCES, POUR LES PARTICIPANTS TSA DU GROUPE AUTISME NON VERBAL DE L'EXPERIENCE 1.	123
FIGURE 3-26 : REPRESENTATION DES SEUILS DE DISCRIMINATION DE LA DUREE, EN FONCTION DES TROIS METHODES DE CALCUL (A, B, ET C), POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS SW DE L'EXPERIENCE 1.....	127
FIGURE 3-27 : REPRESENTATION DES SEUILS DE DISCRIMINATION DU PITCH POUR LES BASSES FREQUENCES, EN FONCTION DES TROIS METHODES DE CALCUL (A, B, ET C), POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS SW DE L'EXPERIENCE 1.	128
FIGURE 3-28 : REPRESENTATION DES SEUILS DE DISCRIMINATION DU PITCH POUR LES HAUTES FREQUENCES, EN FONCTION DES TROIS METHODES DE CALCUL (A, B, ET C), POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS SW DE L'EXPERIENCE 1.	129
FIGURE 3-29 : REPRESENTATION DES SEUILS DE DISCRIMINATION (A) DE LA DUREE (EN MSEC), (B) DU PITCH POUR LES BASSES FREQUENCES (EN HERZ), ET (C) DU PITCH POUR LES HAUTES FREQUENCES (EN HERZ), EN FONCTION DE L'AGE DES PARTICIPANTS SW, POUR L'EXPERIENCE 1.	131
FIGURE 3-30 : SEUILS DE DISCRIMINATION POUR L'ENSEMBLE DES QUATRE GROUPES ATYPIQUES (A) SYNDROME D'ASPERGER, (AV) AUTISME VERBAL, (ANV) AUTISME NON VERBAL, ET (SW) SYNDROME DE WILLIAMS,	

COMPARATIVEMENT A LEURS CONTROLES NEUROTYPQUES DE MEME AGE CHRONOLOGIQUE, POUR LES TROIS CONDITIONS (A) DUREE, (B) PITCH DE BASSES FREQUENCES, ET (C) PITCH DE HAUTES FREQUENCES, DE L'EXPERIENCE 1.	136
FIGURE 4-1 : SPECTROGRAMME ILLUSTRANT UNE PORTION D'UNE SEQUENCE DE TONS PURS VARIANT EN DUREE, UTILISEE POUR L'EXPERIENCE 2.	148
FIGURE 4-2 : ILLUSTRATION DES GROUPEMENTS <i>IAMBIQUES</i> POUR LES TROIS INDICES PROSODIQUES (DUREE, INTENSITE ET PITCH) PRESENTES DANS L'EXPERIENCE 2.	151
FIGURE 4-3 : ILLUSTRATION DES REPONSES « OUI » ET « NON » POUR LA PROCEDURE ALTERNATIVE DE L'EXPERIENCE 2.	152
FIGURE 4-4 : POURCENTAGE DE REPONSES CORRECTES (IAMBIQUES POUR LA DUREE, TROCHAÏQUES POUR L'INTENSITE ET LE PITCH), SELON LA CONDITION, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS NT DE L'EXPERIENCE 2.	154
FIGURE 4-5 : DISTRIBUTION DES REPONSES INDIVIDUELLES POUR CHACUNE DES TROIS CONDITION (A) DUREE, (B) INTENSITE ET (C) PITCH, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS NT DE L'EXPERIENCE 2.	154
FIGURE 4-6 : POURCENTAGE DE GROUPEMENTS IAMBIQUES SELON LE TYPE D'ITEMS (TESTS OU CONTROLES), POUR LA DUREE, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS NT AYANT PASSE LA PROCEDURE STANDARD DE L'EXPERIENCE 2.	156
FIGURE 4-7 : POURCENTAGE DE GROUPEMENTS IAMBIQUES ET TROCHAÏQUES SELON LE RATIO D'ACCENTUATION DES TONS PURS, POUR (A) LA DUREE, (B) L'INTENSITE, ET (C) LE PITCH, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS NT DE L'EXPERIENCE 2.	158
FIGURE 4-8 : POURCENTAGE DE REPONSES CORRECTES POUR LE GROUPEMENT DE TONS PURS VARIANT EN PITCH (TROCHAÏQUES) EN FONCTION DU POURCENTAGE DE REPONSES CORRECTES POUR LE GROUPEMENT DE TONS PURS VARIANT EN INTENSITE (TROCHAÏQUES), POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS NT DE L'EXPERIENCE 2.	161
FIGURE 4-9 : POURCENTAGE DE REPONSES CORRECTES (IAMBIQUES) POUR LE GROUPEMENT DE TONS PURS VARIANT EN DUREE, EN FONCTION DU SEUIL DE DISCRIMINATION OBTENU POUR LE PITCH DE BASSES FREQUENCES, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS NT DE L'EXPERIENCE 2.	162
FIGURE 4-10 : POURCENTAGE DE REPONSES CORRECTES SELON LA LOI IAMBO-TROCHAÏQUE POUR LA DUREE (REPONSES IAMBIQUES), L'INTENSITE ET LE PITCH (REPONSES TROCHAÏQUES), POUR LE GROUPEMENT DE TONS PURS, EN FONCTION DU TYPE D'AUTISME, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS TSA DE L'EXPERIENCE 2.	164
FIGURE 4-11 : DISTRIBUTION DES REPONSES INDIVIDUELLES POUR CHACUNE DES TROIS CONDITION (A) DUREE, (B) INTENSITE ET (C) PITCH, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS TSA DE L'EXPERIENCE 2.	164
FIGURE 4-12 : POURCENTAGE DE GROUPEMENTS IAMBIQUES ET TROCHAÏQUES SELON LE TYPE D'ITEMS (TESTS OU CONTROLES), POUR (A) LA DUREE ET (B) LE PITCH, POUR CHACUN DES DEUX GROUPES DE PARTICIPANTS TSA DE L'EXPERIENCE 2.	167
FIGURE 4-13 : POURCENTAGE DE GROUPEMENTS IAMBIQUES ET TROCHAÏQUES SELON LE RATIO D'ACCENTUATION, POUR (A) LA DUREE, (B) L'INTENSITE, ET (C) LE PITCH, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS TSA DE L'EXPERIENCE 2.	170
FIGURE 4-14 : POURCENTAGE DE REPONSES CORRECTES SELON LA LOI IAMBO-TROCHAÏQUE POUR LA DUREE (REPONSES IAMBIQUES), L'INTENSITE ET LE PITCH (REPONSES TROCHAÏQUES), POUR LE GROUPEMENT DE TONS PURS, EN FONCTION DE L'AGE DES PARTICIPANTS TSA, POUR L'EXPERIENCE 2.	171
FIGURE 4-15 : POURCENTAGE DE REPONSES CORRECTES POUR LE GROUPEMENT DE TONS PURS VARIANT EN PITCH (TROCHAÏQUES) EN FONCTION DU POURCENTAGE DE REPONSES CORRECTES POUR LE GROUPEMENT DE TONS PURS VARIANT EN INTENSITE (TROCHAÏQUES), POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS TSA DE L'EXPERIENCE 2.	173

FIGURE 4-16 : POURCENTAGE DE REPONSES CORRECTES (TROCHAÏQUES) (A) POUR LE GROUPEMENT DE TONS PURS VARIANT EN PITCH EN FONCTION DU SEUIL DE DISCRIMINATION OBTENU POUR LE PITCH DE BASSES FREQUENCES, ET (B) POUR LE GROUPEMENT DE TONS PURS VARIANT EN INTENSITE EN FONCTION DU SEUIL DE DISCRIMINATION OBTENU POUR LE PITCH DE HAUTES FREQUENCES, EN FONCTION DU TYPE D'AUTISME, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS TSA DE L'EXPERIENCE 2.....	174
FIGURE 4-17 : POURCENTAGE DE GROUPEMENTS IAMBIQUES ET TROCHAÏQUES SELON LE GROUPE D'APPARTENANCE DES PARTICIPANTS (NT OU TSA), POUR LES GROUPES (A) SYNDROME D'ASPERGER ET (B) AUTISME VERBAL, POUR LES TROIS CONDITIONS (DUREE, INTENSITE ET PITCH) DE L'EXPERIENCE 2.....	177
FIGURE 5-1 : POURCENTAGE DE REPONSES CORRECTES (IAMBIQUES POUR LA DUREE, TROCHAÏQUES POUR L'INTENSITE ET LE PITCH), SELON LA CONDITION, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS NT DE L'EXPERIENCE 3.	189
FIGURE 5-2 : DISTRIBUTION DES REPONSES INDIVIDUELLES POUR CHACUNE DES TROIS CONDITION (A) DUREE, (B) INTENSITE ET (C) PITCH, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS NT DE L'EXPERIENCE 3.	189
FIGURE 5-3 : POURCENTAGE DE REPONSES TROCHAÏQUES POUR (A) L'INTENSITE ET (B) LE PITCH, EN FONCTION DU NOMBRE DE PSEUDO-MOTS TRAITES, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS NT DE L'EXPERIENCE 3.	193
FIGURE 5-4 : POURCENTAGE DE GROUPEMENTS IAMBIQUES ET TROCHAÏQUES SELON LE RATIO D'ACCENTUATION DES PSEUDO-MOTS, POUR (A) LA DUREE, (B) L'INTENSITE, ET (C) LE PITCH, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS NT DE L'EXPERIENCE 3.....	194
FIGURE 5-5 : POURCENTAGE DE REPONSES CORRECTES (IAMBIQUES) POUR LE GROUPEMENT DE PSEUDO-MOTS VARIANT EN DUREE, EN FONCTION DU SEUIL DE DISCRIMINATION OBTENU POUR LE PITCH DE BASSES FREQUENCES, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS NT DE L'EXPERIENCE 3.....	196
FIGURE 5-6 : POURCENTAGE DE REPONSES CORRECTES (TROCHAÏQUES) POUR LE GROUPEMENT DE PSEUDO-MOTS VARIANT EN INTENSITE, EN FONCTION DU SEUIL DE DISCRIMINATION OBTENU POUR LE PITCH DE HAUTES FREQUENCES, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS NT DE L'EXPERIENCE 3.....	197
FIGURE 5-7 : POURCENTAGE DE REPONSES CORRECTES (TROCHAÏQUES) POUR LE GROUPEMENT DE PSEUDO-MOTS VARIANT EN PITCH, EN FONCTION DU SEUIL DE DISCRIMINATION OBTENU POUR LA DUREE, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS NT DE L'EXPERIENCE 3.	198
FIGURE 5-8 : POURCENTAGE DE REPONSES CORRECTES (IAMBIQUES POUR LA DUREE, TROCHAÏQUES POUR L'INTENSITE ET LE PITCH), SELON LA CONDITION, ET SELON LEUR GROUPE D'APPARTENANCE (SYNDROME D'ASPERGER, AUTISME VERBAL, ET AUTISME NON VERBAL), POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS TSA DE L'EXPERIENCE 3.....	199
FIGURE 5-9 : POURCENTAGE DE GROUPEMENTS IAMBIQUES ET TROCHAÏQUES SELON LE RATIO D'ACCENTUATION DES PSEUDO-MOTS, POUR (A) LA DUREE, (B) L'INTENSITE, ET (C) LE PITCH, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS TSA DE L'EXPERIENCE 3.....	203
FIGURE 5-10 : POURCENTAGE DE REPONSES CORRECTES (TROCHAÏQUES) POUR LE GROUPEMENT DE PSEUDO-MOTS VARIANT EN INTENSITE, EN FONCTION DU SEUIL DE DISCRIMINATION OBTENU POUR LE PITCH DE BASSES FREQUENCES, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS TSA DE L'EXPERIENCE 3.....	207
FIGURE 5-11 : POURCENTAGE DE REPONSES CORRECTES (IAMBIQUES) POUR LE GROUPEMENT DE PSEUDO-MOTS VARIANT EN DUREE, EN FONCTION DU SEUIL DE DISCRIMINATION OBTENU POUR LA DUREE, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS TSA DE L'EXPERIENCE 3.....	207

FIGURE 5-12 : POURCENTAGE DE REPONSES CORRECTES SELON LA LOI IAMBO-TROCHAÏQUE POUR LA DUREE (REPONSES IAMBIQUES), L'INTENSITE ET LE PITCH (REPONSES TROCHAÏQUES), POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS SW DE L'EXPERIENCE 3.....	209
FIGURE 5-13 : POURCENTAGE DE GROUPEMENTS IAMBIQUES ET TROCHAÏQUES SELON LE RATIO D'ACCENTUATION DES PSEUDO-MOTS, POUR (A) LA DUREE, (B) L'INTENSITE, ET (C) LE PITCH, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS SW DE L'EXPERIENCE 3.....	212
FIGURE 5-14 : DISTRIBUTION DES REPONSES IAMBO-TROCHAÏQUES EN FONCTION DE L'AGE (EN ANNEES), POUR CHAQUE CONDITION (A) DUREE, (B) INTENSITE, ET (C) PITCH, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS SW DE L'EXPERIENCE 3.	213
FIGURE 5-15 : POURCENTAGE DE REPONSES CORRECTES (TROCHAÏQUES) POUR LE GROUPEMENT DE PSEUDO-MOTS VARIANT EN PITCH, EN FONCTION DU SEUIL DE DISCRIMINATION OBTENU POUR LE PITCH DE HAUTES FREQUENCES, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS SW DE L'EXPERIENCE 3.	215
FIGURE 5-16 : POURCENTAGE DE REPONSES CORRECTES SELON LA LOI IAMBO-TROCHAÏQUE, POUR CHACUNE DES TROIS CONDITIONS (DUREE, INTENSITE, ET PITCH), POUR LES QUATRE GROUPES DE PARTICIPANTS ATYPIQUES (A) SYNDROME D'ASPERGER, (B) AUTISME VERBAL, (C) AUTISME NON VERBAL, ET (D) SYNDROME DE WILLIAMS, COMPARATIVEMENT A LEURS CONTROLES NT DE MEME AGE CHRONOLOGIQUE, POUR L'EXPERIENCE 3.	219
FIGURE 6-1 : DETAILS DU MATERIEL UTILISE POUR L'EXPERIENCE 4 (SEULE LA CONDITION « <i>ALIGNED</i> » A ETE UTILISEE) (SCHEMA ISSU DE BERNARD & GERVAIN, 2012).....	229
FIGURE 6-2 : VISUEL DE LA PHASE DE TEST CREEE POUR L'EXPERIENCE 4.....	230
FIGURE 6-3 : POURCENTAGE (MOYENNE ET ECART-TYPE) DE GROUPEMENTS VO (FREQUENT-INFREQUENT) ET OV (INFREQUENT-FREQUENT) CHEZ L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS NT DE L'EXPERIENCE 4.....	231
FIGURE 6-4 : DISTRIBUTION DES REPONSES VO (FREQUENT – INFREQUENT) OBSERVEES POUR LES 16 ITEMS TESTS, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS NT DE L'EXPERIENCE 4.....	232
FIGURE 6-5 : POURCENTAGE DE REPONSES VO (MOYENNE ET ECART-TYPE) EN FONCTION DU GROUPE D'AGE DES PARTICIPANTS NT DE L'EXPERIENCE 4.....	233
FIGURE 6-6 : POURCENTAGE DE GROUPEMENTS VO (FREQUENT-INFREQUENT) ET OV (INFREQUENT-FREQUENT) CHEZ L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS TSA, EN FONCTION DE LEUR TYPE D'AUTISME (SYNDROME D'ASPERGER, AUTISME VERBAL, AUTISME NON VERBAL), POUR L'EXPERIENCE 4.	234
FIGURE 6-7 : DISTRIBUTION DES REPONSES VO (FREQUENT – INFREQUENT) OBSERVEES POUR LES 16 ITEMS TESTS, POUR CHACUN DES DEUX SOUS-GROUPES (A) SYNDROME D'ASPERGER ET (B) AUTISME VERBAL, POUR L'EXPERIENCE 4..	235
FIGURE 6-8 : POURCENTAGE DE REPONSES VO EN FONCTION DE L'AGE, ET DROITE DE REGRESSION, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS TSA DE L'EXPERIENCE 4.	237
FIGURE 6-9 : POURCENTAGE DE REPONSES VO, EN FONCTION DU SEUIL DE DISCRIMINATION OBTENU POUR LA DUREE, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS DU GROUPE SYNDROME D'ASPERGER DE L'EXPERIENCE 4.....	238
FIGURE 6-10 : POURCENTAGE DE GROUPEMENTS VO (FREQUENT-INFREQUENT) ET OV (INFREQUENT-FREQUENT) CHEZ L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS SW DE L'EXPERIENCE 4.	239
FIGURE 6-11 : DISTRIBUTION DES REPONSES VO (FREQUENT – INFREQUENT) OBSERVEES POUR LES 16 ITEMS TESTS, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS SW DE L'EXPERIENCE 4.	240
FIGURE 6-12 : POURCENTAGE DE REPONSES VO EN FONCTION DE L'AGE, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS SW DE L'EXPERIENCE 4.....	241

FIGURE 6-13 : POURCENTAGE DE REPONSES VO EN FONCTION DU SEUIL DE DISCRIMINATION DU PITCH POUR LES BASSES FREQUENCES (EN HERZ), POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS SW DE L'EXPERIENCE 4.	242
FIGURE 6-14 : POURCENTAGE DE REPONSES VO (FREQUENT-INFREQUENT) POUR LES QUATRE GROUPES DE PARTICIPANTS ATYPIQUES (SYNDROME D'ASPERGER, AUTISME VERBAL, AUTISME NON VERBAL, ET SYNDROME DE WILLIAMS), COMPARATIVEMENT A LEURS CONTROLES NEUROTYPQUES DE MEME AGE CHRONOLOGIQUE, POUR L'EXPERIENCE 4.	243

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1-1 : TABLEAU RECAPITULATIF DES ETUDES ITL REALISEES CHEZ LE BEBE (ISSU DE ABBOUB, 2015).....	24
TABLEAU 2-1 : REPARTITION DETAILLEE DES PARTICIPANTS NEUROTYPQUES.	51
TABLEAU 2-2 : REPARTITION DES PARTICIPANTS TSA, SELON LES TROIS GROUPES DEFINIS (SYNDROME D'ASPERGER [A], AUTISME VERBAL [AV] ET AUTISME NON VERBAL [ANV]).	53
TABLEAU 2-3 : REPARTITION DES PARTICIPANTS SW.	54
TABLEAU 2-4 : POURCENTAGE DES SEPT TYPES DE PROFIL (« TRES FAIBLE », « LIMITE », « MOYEN FAIBLE », « MOYEN », « MOYEN FORT », « SUPERIEUR », ET « TRES SUPERIEUR ») OBSERVES CHEZ L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS NT AYANT PASSE L'EVALUATION COGNITIVE COMPARATIVEMENT A LA DISTRIBUTION ATTENDUE DANS LA POPULATION GENERALE, ET NOTES D'ECHELLE TOTALE FAISANT OFFICE DE BORNES.	57
TABLEAU 2-5 : POURCENTAGE DES SEPT TYPES DE PROFIL (« TRES FAIBLE », « LIMITE », « MOYEN FAIBLE », « MOYEN », « MOYEN FORT », « SUPERIEUR », ET « TRES SUPERIEUR ») OBSERVES CHEZ L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS TSA AYANT PASSE L'EVALUATION COGNITIVE, AINSI QUE POUR LES DEUX SOUS-GROUPES (A) SYNDROME D'ASPERGER ET (AV) AUTISME VERBAL, COMPARATIVEMENT A LA DISTRIBUTION ATTENDUE DANS LA POPULATION GENERALE, ET NOTES D'ECHELLE TOTALE FAISANT OFFICE DE BORNES.	60
TABLEAU 2-6 : LANGUES MATERNELLES DES PARTICIPANTS TSA EN FONCTION DE LEUR GROUPE (SYNDROME D'ASPERGER [A], AUTISME VERBAL [AV], ET AUTISME NON VERBAL [ANV]).	68
TABLEAU 3-1 : DETAILS DES TONS PURS CREES POUR L'EXPERIENCE 1.	80
TABLEAU 3-2 : REPARTITION DES QUATRE TYPES DE PROFIL SELON LES GROUPES D'AGE DES PARTICIPANTS NT POUR L'EXPERIENCE 1 (EN GRAS FIGURENT LES POURCENTAGES DES TYPES DE PROFILS PREDOMINANTS POUR CHACUNE DES TROIS CONDITIONS).	86
TABLEAU 3-3 : VALEURS MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES SEUILS SELON LA METHODE DE CALCUL UTILISEE (A, B OU C), POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS NT DE L'EXPERIENCE 1 (LES VALEURS SONT DONNEES EN MSEC POUR LA DUREE, ET EN HZ POUR LE PITCH).	88
TABLEAU 3-4 : RATIOS DE WEBER ET ECART-TYPES POUR (A) LA DUREE, (B) LE PITCH DE BASSES FREQUENCES, ET (C) LE PITCH DE HAUTES FREQUENCES, POUR L'ENSEMBLE ET POUR CHACUN DES GROUPES D'AGE DES PARTICIPANTS NT DE L'EXPERIENCE 1.	94
TABLEAU 3-5 : REPARTITION DES QUATRE TYPES DE PROFIL DES PARTICIPANTS TSA, EN FONCTION DU TYPE D'AUTISME, POUR L'EXPERIENCE 11 (EN GRAS FIGURENT LES POURCENTAGES DES TYPES DE PROFILS PREDOMINANTS POUR CHACUNE DES TROIS CONDITIONS).	107
TABLEAU 3-6 : RATIOS DE WEBER ET ECART-TYPES POUR (A) LA DUREE, (B) LE PITCH DE BASSES FREQUENCES, ET (C) LE PITCH DE HAUTES FREQUENCES, POUR L'ENSEMBLE ET POUR CHACUN DES SOUS-GROUPES DES PARTICIPANTS TSA DE L'EXPERIENCE 1.	114
TABLEAU 3-7 : REPARTITION DES QUATRE TYPES DE PROFIL DES PARTICIPANTS SW, POUR L'EXPERIENCE 1 (EN GRAS FIGURENT LES POURCENTAGES DES TYPES DE PROFILS PREDOMINANTS POUR CHACUNE DES TROIS CONDITIONS). ...	126
TABLEAU 3-8 : RATIOS DE WEBER ET ECART-TYPES POUR (A) LA DUREE, (B) LE PITCH DE BASSES FREQUENCES, ET (C) LE PITCH DE HAUTES FREQUENCES, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS SW DE L'EXPERIENCE 1.	129

TABLEAU 3-9 : COMPARAISON DES REPARTITIONS DES QUATRE TYPES DE PROFIL POUR LES PARTICIPANTS TSA DU GROUPE SYNDROME D'ASPERGER, COMPARATIVEMENT A LEURS CONTROLES NEUROTYPQUES DE MEME AGE CHRONOLOGIQUE, POUR L'EXPERIENCE 1.	133
TABLEAU 3-10 : COMPARAISON DES REPARTITIONS DES QUATRE TYPES DE PROFIL POUR LES PARTICIPANTS TSA DU GROUPE AUTISME VERBAL, COMPARATIVEMENT A LEURS CONTROLES NEUROTYPQUES DE MEME AGE CHRONOLOGIQUE, POUR L'EXPERIENCE 1.....	134
TABLEAU 3-11 : COMPARAISON DES REPARTITIONS DES QUATRE TYPES DE PROFIL POUR LES PARTICIPANTS TSA DU GROUPE AUTISME NON VERBAL, COMPARATIVEMENT A LEURS CONTROLES NEUROTYPQUES DE MEME AGE CHRONOLOGIQUE, POUR L'EXPERIENCE 1.	134
TABLEAU 3-12 : COMPARAISON DES REPARTITIONS DES QUATRE TYPES DE PROFIL POUR LES PARTICIPANTS SW, COMPARATIVEMENT A LEURS CONTROLES NEUROTYPQUES DE MEME AGE CHRONOLOGIQUE, POUR L'EXPERIENCE 1.	135
TABLEAU 3-13 : SYNTHESE DES RESULTATS OBTENUS A L'EXPERIENCE 1, POUR L'ENSEMBLE DES GROUPES (NT, TSA, ET SW), ET POUR LES TROIS CONDITIONS (DUREE, PITCH DE BASSES FREQUENCES, ET PITCH DE HAUTES FREQUENCES).	142
TABLEAU 4-1 : DETAILS DES TONS PURS CREES POUR L'EXPERIENCE 2.	149
TABLEAU 4-2 : SYNTHESE DES RESULTATS OBTENUS A L'EXPERIENCE 2, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS (NT ET TSA), LA VARIABILITE LIEE A L'AGE, AINSI QUE L'INFLUENCE DES CAPACITES DE DISCRIMINATION, POUR LA PERCEPTION DE L'ITL DANS CHACUNE DES TROIS CONDITIONS (DUREE, INTENSITE, ET PITCH). (IAMB. = IAMBIQUE ; TROCH. = TROCHAÏQUE).....	180
TABLEAU 5-1 : DETAILS DES PSEUDO-MOTS CREES POUR L'EXPERIENCE 3.....	185
TABLEAU 5-2 : SYNTHESE DES RESULTATS OBTENUS A L'EXPERIENCE 3, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS (NT, TSA, ET SW), LA VARIABILITE LIEE A L'AGE, AINSI QUE L'INFLUENCE DES CAPACITES DE DISCRIMINATION, POUR LA PERCEPTION DE L'ITL DANS CHACUNE DES TROIS CONDITIONS (DUREE, INTENSITE, ET PITCH). (D = DUREE ; BF = BASSES FREQUENCES ; HF = HAUTES FREQUENCES).....	223
TABLEAU 6-1 : SYNTHESE DES RESULTATS OBTENUS A L'EXPERIENCE 4, REPRESENTANT LA PREFERENCE POUR LES SYNTAGMES VO OU OV, LA VARIABILITE LIEE A L'AGE, AINSI QUE L'INFLUENCE DES CAPACITES DE DISCRIMINATION, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS (NT, TSA, ET SW). (D = DUREE ; HF = HAUTES FREQUENCES)	245
TABLEAU 7-1 : RESULTATS DE L'ANALYSE DE REGRESSION PAS A PAS POUR LA TACHE DU BOOTSTRAPPING (EXPERIENCE 4), POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS NT.	252
TABLEAU 7-2 : RESULTATS DE L'ANALYSE DE REGRESSION PAS A PAS POUR LES TACHES DE DISCRIMINATION AUDITIVE (EXPERIENCE 1), POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS TSA.	253
TABLEAU 7-3 : RESULTATS DE L'ANALYSE DE REGRESSION PAS A PAS POUR LES PROFILS DURANT LES TACHES DE DISCRIMINATION AUDITIVE (EXPERIENCE 1), POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS TSA.....	254
TABLEAU 7-4 : RESULTATS DE L'ANALYSE DE REGRESSION PAS A PAS POUR LES TACHES DE GROUPEMENT DE TONS PURS (EXPERIENCE 2), POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS TSA.	254
TABLEAU 7-5 : RESULTATS DE L'ANALYSE DE REGRESSION PAS A PAS POUR LES TACHES DE GROUPEMENT DE SYLLABES (EXPERIENCE 3), POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS TSA.	255
TABLEAU 7-6 : RESULTATS DE L'ANALYSE DE REGRESSION PAS A PAS POUR LA TACHE DU BOOTSTRAPPING (EXPERIENCE 4), POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS TSA.	256

TABLEAU 7-7 : RESULTATS DE L'ANALYSE DE REGRESSION PAS A PAS POUR LES PROFILS DURANT LES TACHES DE DISCRIMINATION AUDITIVE (EXPERIENCE 1), POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS SW.....	257
TABLEAU 7-8 : RESULTATS DE L'ANALYSE DE REGRESSION PAS A PAS POUR LES TACHES DE GROUPEMENT DE SYLLABES (EXPERIENCE 3), POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS SW.....	257
TABLEAU 8-1 : SYNTHESE DES RESULTATS OBTENUS AUX EXPERIENCES 2 (TONS PURS) ET 3 (PSEUDO-MOTS), POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS (NT ET TSA), POUR LA PERCEPTION DE L'ITL DANS CHACUNE DES TROIS CONDITIONS (DUREE, INTENSITE, ET PITCH).....	270

« Dans une salle de classe, il y a tout le temps des petits bruits. Ce qui m'épuise, ce sont les bruits prolongés, comme le bruit de fond du papotage. J'ai beaucoup de mal, dans la durée, à faire face. Cela suscite une sorte d'obscureissement neuronal qui rend très compliqué le fait de réfléchir ou d'être fonctionnel. »

« Vous savez, on se rend très vite compte qu'on est différent. Sur mes bulletins de notes, il y avait marqué par exemple « Ne joue pas avec ses camarades ». Mais... vu de ma perspective, c'était surtout mes camarades qui ne jouaient pas avec moi. Dans l'absolu, si le monde était peuplé de gens autistes, eh bien ça serait peut-être des gens non autistes qui seraient en difficulté. Finalement ça donne toujours à réfléchir sur ce qu'est l'humanité. Il y a tant de manières d'être humain. »

Josef Schovanec

1. CHAPITRE 1 : INTRODUCTION GENERALE

Selon Aristote (350 avant JC), l'Homme est un animal possédant le *logos*. Le langage est donc un des attributs mêmes de l'humanité. Pour la majorité d'entre nous, la capacité à communiquer et à interagir avec les autres est un processus intuitif qui requiert un effort limité. L'acquisition de cette capacité est tout aussi remarquablement facile chez enfants neurotypiques. Aujourd'hui, nous commençons à mieux connaître les mécanismes qui leur permettent d'apprendre une compétence mentale aussi complexe que le langage en si peu de temps et avec si peu d'effort. Néanmoins, beaucoup d'aspects du développement langagier restent mal connus. De plus, l'acquisition de cette particularité remarquable ne semble pas aboutir aux mêmes résultats chez tous les Hommes. Le développement langagier atypique, comme dans les troubles de l'articulation, le retard de parole, la dysphasie, le bégaiement, etc., ou encore dans certaines anomalies génétiques, comme par exemple dans l'autisme et le syndrome de Williams, est encore moins bien décrit. Or ces troubles touchent un nombre important d'enfants (près de 5% des enfants de 5 ans sont touchés par un trouble du développement du langage oral ; Bursztejn & Aussilloux, 2008; Jean A Rondal & Seron, 2000) et impactent considérablement leur réussite scolaire, leur insertion dans la société, et leur qualité de vie.

La présente recherche a donc un double objectif. Elle porte, d'une part, sur les capacités perceptives langagières des personnes **neurotypiques (NT)**, et d'autre part sur celles des individus présentant un **trouble du spectre autistique (TSA)**, ou ayant le **syndrome de Williams-Beuren (SW)**. Plus particulièrement, elle s'intéresse au **rôle que joue la perception de la prosodie** – la musicalité de la parole – **dans le développement de leur langage**.

En effet, la perception de la prosodie et son rôle primordial dans l'acquisition du langage est de mieux en mieux comprise dans le développement typique (Bernard & Gervain, 2012; Bhatara, Boll-Avetisyan, Unger, Nazzi, & Höhle, 2013; Gervain & Werker, 2013; Höhle, Weissenborn, Schmitz, & Ischebeck, 2001; Mampe, Friederici, Christophe, & Wermke, 2009; James L Morgan & Demuth, 1996b; Nespor et al., 2008). En particulier, l'audition est opérationnelle dès le troisième trimestre de la grossesse (Eggermont & Moore, 2012), mais les tissus maternels fonctionnent comme des filtres passe-bas, supprimant les détails fins de la parole, mais laissant passer la prosodie – donc la mélodie et le rythme – du signal de la parole. La prosodie constitue donc la première expérience avec la langue

maternelle et servira de repère aux nouveau-nés pour reconnaître leur langue maternelle. Comme il existe des corrélations entre la prosodie et la structure lexicale et grammaticale d'une langue, la prosodie sert également de guide aux jeunes bébés pour identifier et apprendre certains aspects lexicaux et grammaticaux de leur langue maternelle. Le **premier objectif** de cette thèse est d'apporter de **nouveaux éléments** aux recherches sur le rôle de la **prosodie dans le développement typique**, souvent appelée **initialisation** (ou « **bootstrapping** ») **prosodique** du langage.

En revanche, on en sait très peu concernant le développement atypique. Deux pathologies sont particulièrement intéressantes : le trouble du spectre autistique et le syndrome de Williams. Les individus TSA sont connus pour avoir une altération qualitative de la communication (pouvant aller jusqu'à l'absence quasi-totale de langage) et des interactions sociales (American Psychiatric Association, 2005; Organisation Mondiale de la Santé, 2000). En plus des troubles linguistiques, les personnes TSA présentent également une perception auditive de bas niveau atypique (Bonnell et al., 2010; Heaton, Hermelin, & Pring, 1998; Jones et al., 2009; Motttron & Burack, 2001). Si les troubles langagiers dans l'autisme ont souvent été attribués aux troubles de la cognition sociale, le lien potentiel entre langage atypique et perception auditive atypique a reçu moins d'attention dans la littérature. Or cette association est particulièrement intéressante dans le cadre de la théorie de l'initialisation prosodique du langage. Le **deuxième objectif** de cette thèse est donc de poser la question de savoir si ces deux aspects sont liés, et notamment **si l'audition atypique pourrait aboutir à une perception atypique de la prosodie linguistique** qui, du coup, viendrait **faire obstacle au développement typique du langage**.

Au contraire, les personnes SW montrent un profil caractérisé par un langage assez développé et de bonnes capacités de communication sociale par rapport à leur niveau d'intelligence (Bellugi, Adolphs, Cassady, & Chiles, 1999; Doyle, Bellugi, Korenberg, & Graham, 2004). Leurs aptitudes langagières (la phonologie, la morphologie, et la syntaxe) sont relativement préservées (Havy, Moukawane, & Nazzi, 2010; Mervis et al., 2000), bien que leurs perception et production apparaissent souvent comme étant atypiques (Lacroix, Stojanovik, & Lukacs, 2009; Nazzi, Gopnik, & Karmiloff-Smith, 2005; Nazzi, Paterson, & Karmiloff-Smith, 2003). De ce fait, **comparer ces deux populations est le troisième objectif**

de la présente thèse. Cela permet, d'une part, de tester des prédictions contrastées, et, d'autre part, de poser des questions de spécificité de déficit.

Pour atteindre les trois objectifs, notamment explorer l'initialisation prosodique dans nos trois populations, nous avons réalisé quatre tâches expérimentales, allant de la perception auditive de bas niveau (Expérience 1, Chapitre 3) vers le traitement de la prosodie (Expériences 2 et 3, Chapitres 4 et 5 respectivement) et l'initialisation prosodique de l'ordre des mots de la langue maternelle (Expérience 4, Chapitre 6). Ces quatre tâches nous ont permis d'évaluer ces capacités dans les trois populations. De plus, nous avons analysé les liens entre ces capacités, notamment pour comprendre si et, si oui, comment la perception auditive pourrait contribuer au développement langagier. Nous avons également évalué (Chapitre 7) comment d'autres facteurs comme le niveau d'intelligence, le bilinguisme, l'expérience musicale, etc., pourraient impacter les capacités auditives et linguistiques dans nos trois populations.

Cette démarche apporte plusieurs nouveaux éléments à la littérature sur le développement langagier typique et atypique. Premièrement et d'un point de vue descriptif, les capacités de discrimination auditive n'ont jamais été évaluées dans les trois populations à une échelle aussi large, notamment chez 279 participants NT âgés de 3 à 60 ans, 138 participants TSA âgés de 3 à 54 ans, avec des QI allant de 44 à 147, et 16 participants SW âgés de 5 à 14 ans. Une telle évaluation est particulièrement rare dans la littérature surtout chez les jeunes enfants entre 3 et 6 ans, et chez des populations francophones. Deuxièmement et d'un point de vue théorique, le développement linguistique des personnes TSA et SW n'a jamais été abordé dans le cadre de l'initialisation prosodique, qui est pourtant un des modèles les plus utilisés actuellement dans la littérature sur le développement typique. Troisièmement et d'un point de vue clinique, une meilleure compréhension du développement linguistique chez les personnes TSA et SW pourrait, à terme, aboutir à une meilleure prise en charge clinique.

Le reste de l'Introduction générale (Chapitre 1) présentera la littérature existante sur le développement de la perception auditive, le rôle de la prosodie et la théorie de l'initialisation prosodique dans le développement typique, aussi bien que dans le spectre autistique et le syndrome de Williams-Beuren. Le Chapitre 2 décrira en détails les trois populations que nous avons rencontrées. Les Chapitres 3 à 6, chapitres expérimentaux,

décriront chacune des quatre tâches que nous avons créées pour cette thèse, ainsi que leurs résultats. Le Chapitre 7 visera à déterminer quels facteurs peuvent expliquer les mesures psychoacoustiques et de perception prosodique que nous avons obtenues. Enfin, nous discuterons de l'ensemble de ces données dans le Chapitre 8, consacré à la Discussion générale.

1.1 L'importance de la prosodie pour le traitement et l'acquisition du langage

Sans recevoir de leçon particulière, l'enfant réussit à maîtriser les règles de la langue environnante simplement en entendant des fragments de celle-ci, et « même si ces fragments sont déformés par des locuteurs non natifs ou des environnements multilingues » (Spelke, 2008, 723). L'acquisition du langage chez l'enfant semble se faire de façon simple et évidente. Mais comment parvient-il à apprendre et à maîtriser la grammaire de sa langue maternelle ? L'acquisition de la grammaire, c'est-à-dire des règles syntaxiques, est particulièrement pertinente d'un point de vue théorique, car, selon les théories innéistes de l'acquisition du langage, ces règles ne sont pas directement observables dans l'input que l'enfant reçoit. Par cela, elle constitue donc un défi pour les jeunes apprenants, et un problème logique pour les théories de l'acquisition du langage. A cette question, plusieurs grands courants théoriques s'opposent.

Selon la perspective comportementaliste ou behavioriste (Skinner, 1957), qui prône un apprentissage non spécifique, l'enfant apprendrait par imitation. Il ne posséderait donc pas de faculté d'apprentissage spécifique au langage. Selon la perspective sociale, socioconstructiviste, ou interactionniste, le langage serait un mode de relation à autrui, un moyen de faire des choses avec des mots, et le développement serait interpersonnel (Bruner, 1983; Tomasello, 2000; Vygotsky, 1962; Wallon, 1934, 1982). Selon la perspective constructiviste ou génétique (Piaget, 1963), le langage se construirait avant les interactions sociales, et la communication accompagnerait l'action selon les besoins de l'enfant. Enfin, selon la perspective innéiste ou nativiste (Chomsky, 1959, 1965), la capacité à apprendre le langage serait innée et spécifique (« *language acquisition device* »), et ne dépendrait ni des connaissances dans les autres domaines, social ou physique, ni des situations. Cet innéisme reposerait sur un ensemble de règles et de structures syntaxiques communes à toutes les

langues du monde : une « grammaire universelle » qui serait inscrite quelque part dans la circuiterie neuronale du cerveau humain. Ainsi, pour Chomsky, l'Homme dispose de capacités linguistiques, qui seraient à la fois spécifiques à son espèce (l'Homme se distingue des autres primates par le langage), et spécifiques à l'apprentissage linguistique (l'acquisition du langage se différencie de l'acquisition d'autres comportements ou connaissances). Avant l'acquisition de sa langue maternelle, le bébé posséderait déjà de nombreuses connaissances grammaticales du langage ; ces dernières n'étant pas acquises mais innées.

Etant innée, la faculté du langage est un objet biologique. Une caractéristique de cet objet biologique serait l'existence d'une période critique ou sensible au cours de laquelle une langue peut être apprise facilement, parfaitement, et sans accent, qui s'étendrait de la naissance jusqu'au début de la puberté (Lenneberg, 1967). Après cette période, il serait difficile, voire impossible, d'apprendre une langue comme une langue maternelle. En fait, il semblerait qu'il existe non pas une, mais plusieurs périodes critiques, relatives aux aspects linguistiques impactés, ayant chacune un début et une fin différents. Par exemple, la période critique pour l'acquisition de la syntaxe se situerait aux alentours de 7 ans (Johnson & Newport, 1989), tandis que dans le domaine de la perception du langage, il y aurait plusieurs périodes critiques indépendantes, celle de la stabilisation des phonèmes de la langue maternelle se situerait par exemple vers 3-4 ans (Werker & Hensch, 2015).

Les participants, typiques et atypiques, que nous étudions dans cette thèse ont entre 3 et 60 ans. Ils se trouvent donc vers la fin ou au-delà des périodes critiques pour l'acquisition de nombreux aspects de la langue maternelle. Notre étude reste néanmoins pertinente pour au moins trois raisons. Premièrement, comme le diagnostic de l'autisme est posé de façon définitive à 3 ans, il est possible d'étudier des enfants à risque avant cet âge, mais pas des individus confirmés autistes. Deuxièmement, les périodes critiques décrites plus tôt ont été établies pour le développement typique. Etant donné que dans nos deux populations atypiques, le développement du langage est souvent plus tardif et/ou plus prolongé que dans le développement typique, il est probable que les périodes critiques elles-mêmes soient décalées ou prolongées, d'où la pertinence d'étudier les populations au-delà de 3 ans. Troisièmement, même dans le développement typique, il existe des changements, certes quantitatifs plutôt que qualitatifs, dans le système linguistique après la fin des périodes critiques. Or cette évolution a reçu peu d'attention dans la littérature. Notre étude fournira donc des données pertinentes à cet égard.

S'il est vrai que l'Homme vient au monde avec un module cérébral spécifique pour le traitement et l'acquisition du langage, comment va-t-il se spécialiser pour sa langue maternelle, et quels sont les mécanismes à l'œuvre dans cette spécialisation ? Les recherches au cours des trente dernières années ont mis en évidence que le traitement de la prosodie joue un rôle crucial durant l'acquisition du langage.

1.1.1 La prosodie

La prosodie – ou mélodie et rythme – du langage, correspond à toutes les variations d'accentuation, de rythme, et d'intonation véhiculées par le signal de parole. La prosodie linguistique porte des informations lexicales, syntaxiques et pragmatiques dans toutes les langues du monde. Les manifestations acoustiques de la prosodie, qui correspondent aux variations dans la durée des sons, dans leur intensité, et dans leur pitch¹, sont présentes dans le flux de parole, et peuvent donc être perçues, contrairement à certaines des propriétés structurales plus abstraites (comme par exemple l'ordre des mots ou la nature déclarative *versus* interrogative d'un énoncé) qui lui sont corrélées. Dans le développement typique, il a été proposé que ce sont les propriétés acoustiques qui vont servir d'amorçage à l'acquisition des propriétés structurales, en guidant le jeune enfant dans l'acquisition de sa ou ses langue(s) maternelle(s). Ces mécanismes d'amorçage ou d'initialisation portent le nom de « *bootstrapping* ».

1.1.2 L'hypothèse du bootstrapping prosodique

1.1.2.1 Les différents mécanismes de bootstrapping

Dans le champ de l'acquisition du langage, c'est Pinker (1984) qui, le premier, a introduit le terme de *bootstrapping*. Il s'est basé sur la théorie des Principes et des Paramètres de Chomsky (1981, 1986) stipulant que toute grammaire serait constituée de *principes* innés et universels, qui seraient invariants et n'auraient pas besoin d'être appris, et de *paramètres* à fixer, qui définiraient les spécificités d'une langue par rapport à une autre. Cette correspondance entre les propriétés spécifiques d'une langue et le système

¹Par souci de clarté, nous appellerons « *pitch* » les variations de hauteur (en Hertz), pour éviter toute confusion avec la « *fréquence* » (sous-entendu : fréquence d'apparition).

grammatical de cette dernière ne pourrait être effectuée uniquement par des mécanismes purement acoustiques, car les catégories et règles grammaticales – abstraites – ne sont pas directement marquées et disponibles dans le signal de la parole.

Pinker a été le premier à discuter explicitement de ce problème d'amorçage (*the linking problem*), en le considérant comme un problème fondamental pour l'apprenant et pour les modèles d'acquisition du langage résultant d'une divergence entre la perception de la parole (*input*) et la production de la parole (*output*) durant l'apprentissage d'une langue.

Dans cette optique, il propose l'hypothèse du bootstrapping *sémantique* (Pinker, 1984, 1987, 2013). L'hypothèse du bootstrapping sémantique repose sur une association sémantique-syntaxe : les notions sémantiques (comme « action » ou « agent ») qui sont présentes « dans le monde » sont intimement liées aux notions syntaxiques (comme « verbe » ou « sujet de »), qui font partie de la grammaire universelle. Les bébés pourraient donc, à l'aide de règles innées (*linking rules*), relier ces entités sémantiques aux catégories grammaticales correspondantes, et par conséquent identifier les catégories syntaxiques ainsi que les relations entre ces dernières dans leur langue maternelle. Ainsi, selon Pinker, le bébé serait génétiquement équipé de capacités spécifiques qui lui permettraient d'enclencher le processus d'acquisition du langage, sur la base de ses connaissances sémantiques.

Depuis Pinker, diverses propositions du bootstrapping de l'acquisition du langage soulignent l'interaction entre la perception de la parole et le processus d'acquisition du langage, en essayant d'identifier les mécanismes d'apprentissage qui permettent à l'enfant de découvrir les propriétés structurales de sa langue maternelle en se basant sur les caractéristiques de l'input. Notamment, le bootstrapping *syntactique* (initialement proposé par Lasnik en 1989, et étendu à l'acquisition du langage par Gleitman en 1990) propose que les bébés utiliseraient les syntagmes verbaux pour attribuer un sens spécifique à ces verbes. Par exemple, un verbe transitif sera sémantiquement associé à une cause (action d'un verbe sur un objet), alors qu'un verbe intransitif ne le sera pas. Par conséquent, un verbe qui apparaît dans une phrase avec deux arguments nominaux (acteur et objet) doit être transitif, tandis qu'un verbe avec un seul argument nominal sera intransitif.

Le bootstrapping *prosodique* (Gleitman & Wanner, 1982; Morgan & Newport, 1981; Nespor et al., 2008) stipule que les bébés utilisent les indices prosodiques – plus particulièrement les informations prosodiques comme les modulations du pitch, les variations rythmiques, ou encore la synchronisation relative de plusieurs informations de

l'input – pour amorcer les propriétés structurales du langage avec lesquelles elles sont corrélées. L'intonation, l'accentuation, et le rythme de la parole, vont aider le bébé à découper (segmenter) le flux de parole continu en unités linguistiques pertinentes (unités syntaxiques, mots, etc.), à les catégoriser au niveau syntaxique, et à déterminer l'ordre des mots de sa langue maternelle. Ainsi, les nourrissons anglophones vont devoir apprendre à distinguer deux formes d'un même mot selon la position de l'accentuation dans ce mot. En effet, en anglais, le verbe et le substantif se distinguent parfois l'un de l'autre seulement par leur accentuation lexicale : par exemple, le mot *recall* est un verbe si l'accentuation est portée par la deuxième syllabe [reCALL], et est un substantif si l'accentuation est portée par la première syllabe [REcall]. Morgan & Demuth (1996) ont proposé d'intégrer d'autres types d'informations, non prosodiques, également disponibles dans le flux de parole, et permettant aussi aux bébés d'acquérir leur langue maternelle, comme par exemple les indices phonétiques et phonotactiques. Morgan & Demuth (1996) ont ainsi renommé le bootstrapping prosodique en bootstrapping *phonologique*, et c'est ce terme qui est aujourd'hui largement utilisé.

Le bootstrapping *distributionnel* ou *corrélational* (Maratsos & Chalkley, 1980) implique que les bébés sont sensibles aux cooccurrences fréquemment rencontrées dans l'input ; c'est la distribution de ces patterns qui leur permet d'accéder aux catégories syntaxiques de leur langue. Enfin, dans la continuité de Maratsos & Chalkley, Gervain, Nespor, Mazuka, Horie, & Mehler (2008) ont proposé le bootstrapping *fréquentiel*. Selon cette hypothèse, les différentes distributions des mots de fonction et des mots de contenu serviraient de prédicteur universel de ces deux catégories de mots. De ce fait, le bébé s'appuierait sur la fréquence des mots de fonction et des mots de contenu, ainsi que sur l'ordre relatif de ces derniers, pour déterminer l'ordre général des mots de sa langue maternelle. Par ailleurs, les auteurs proposent que ce mécanisme de bootstrapping fréquentiel pourrait agir en liaison étroite avec d'autres mécanismes de bootstrapping, comme par exemple le bootstrapping prosodique (Bernard & Gervain, 2012; Nespor et al., 2008; Nespor, Guasti, & Christophe, 1996) de façon à établir une représentation plus complète de l'ordre des mots dans une langue.

1.1.2.2 Le bootstrapping prosodique de l'ordre des mots

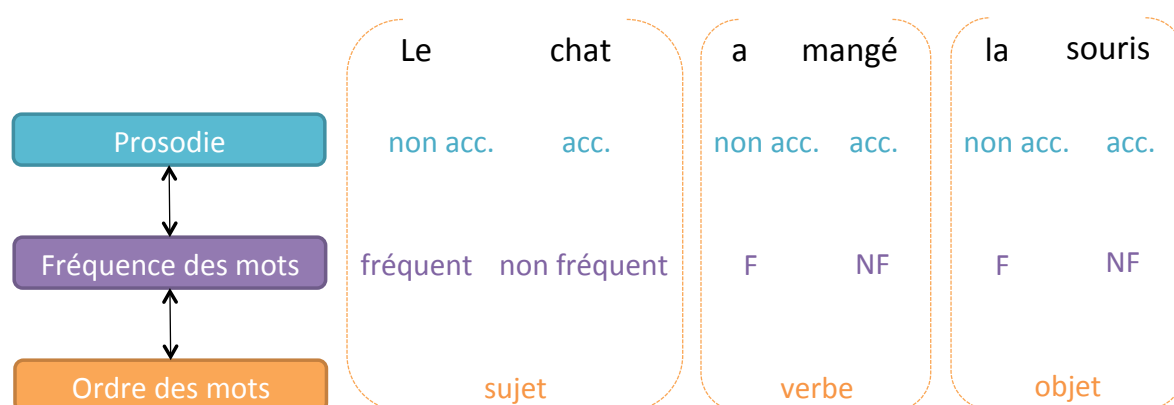
Un paramètre dont l'amorçage prosodique a été proposé dans la littérature est celui qui détermine la structure de surface d'une langue : l'ordre des mots, appelé également « paramètre Tête-Complément ». Ce paramètre permettrait notamment de différencier les deux grands types de langues : les langues où le verbe (la tête) précède l'objet (le complément) (comme le français, l'anglais, ou l'italien), et les langues où l'objet (O) précède le verbe (V) (comme le japonais, le turc, ou le basque). De ce fait, les langues « Tête-Complément », comme le français, présentent un ordre des mots de type VO (manger une pomme), des prépositions (de Paris), et des noms qui précèdent leurs compléments (les clefs de Pierre), alors que les langues « Complément-Tête », comme le japonais, présentent un ordre des mots de type OV (ringowo taberu « pomme.accusatif manger »), des postpositions (Tokyo kara « Tokyo de »), et des noms qui suivent leurs compléments (Pierreno kagi « de Pierre les clefs ») (Gervain et al., 2008). En principe, l'ordre de la tête et du complément est stable dans une langue donnée ; il varie seulement d'une langue à l'autre².

L'ordre des mots est une des premières propriétés syntaxiques acquises par le bébé et, lorsqu'il produit ses premiers énoncés vers l'âge de 18-24 mois, le nourrisson fait peu d'erreurs quant à l'ordre des mots de base dans sa phrase (Bloom, 1970; Meisel, 1992; Pinker, 1999). Il a été proposé que le nourrisson pourrait régler ce paramètre à l'aide des informations contenues dans les propriétés rythmiques de sa langue maternelle (Christophe, Guasti, & Nespor, 1997; Guasti, Christophe, van Ooyen, & Nespor, 2001; Nespor et al., 1996). Par un mécanisme de *bootstrapping prosodique*, les bébés feraient des corrélations entre l'ordre de la tête et du complément, dans les syntagmes syntaxiques, et la position de l'accentuation prosodique, dans les syntagmes phonologiques. Par exemple, lorsqu'un bébé va entendre la phrase « Le chat a mangé la souris », il va percevoir des variations dans la durée des mots. De plus, il va percevoir que tous les mots non-accentués – et donc sans allongement d'aucune syllabe – sont également les mots les plus fréquents dans le discours (mots de fonction). Enfin, de cette suite de mots non arbitraire, le nourrisson va découler des règles : une organisation schématique propre à sa langue maternelle, qui consiste en

² Bien qu'elles soient peu nombreuses, il existe près de 135 langues « mixtes » comme le michif, toujours parlé à la frontière ouest entre les Etats-Unis et le Canada, ou plus près de nous encore, l'allemand ou le hollandais (Smith, 1995). Ces langues mixtes seraient en transition entre deux états stables, mêlant ainsi les deux types d'ordres syntaxiques (VO et OV).

l'agencement des mots fréquents par rapport aux mots non fréquents. De façon générale, en français, les mots fréquents sont plutôt retrouvés en début de syntagme, et les mots non fréquents en fin de syntagme. Or il se trouve que l'ordre relatif des mots de fonction par rapport aux mots de contenu est corrélé avec l'ordre des mots dans la phrase. Ainsi, sur la base d'indices prosodiques (dans notre exemple : la durée), le bébé va déterminer l'ordre des mots de sa langue native (Figure 1-1)³.

Figure 1-1 : Corrélation et mécanisme de bootstrapping entre les propriétés prosodiques, fréquentielles, et syntaxiques ; exemple en français lorsqu'un bébé entend la phrase « Le chat a mangé la souris. » (acc. = accentué).



Les propriétés prosodiques du flux de parole sont les caractéristiques les plus saillantes d'un point de vue perceptif, et les jeunes enfants y sont très sensibles. Elles vont donc jouer un rôle très important en orientant les premières étapes de l'acquisition de la langue maternelle de l'enfant (Höhle & Weissenborn, 2003) : ce sont ces propriétés qui vont l'aider à identifier les mots et les limites syntaxiques des phrases, et qui lui permettront de déterminer les régularités dans l'ordre des mots. La prosodie étant marquée par des accents différemment proéminents en fonction de leur place dans la phrase (à gauche ou à droite), elle va définir l'ordre relatif de la tête et du complément : le complément (l'objet) étant plus proéminent (plus long, plus fort, ou plus aigu) que la tête (le verbe). Les nourrissons vont pouvoir repérer la proéminence en fin de syntagme pour les langues de type VO, et en début

³ La convention veut que la légende des Figures soit placée en-dessous de celles-ci, et que la légende des Tableaux soit placée au-dessus. Pour un choix esthétique personnel, nous avons préféré changer la convention, en plaçant les titres au-dessus, aussi bien pour les Tableaux que pour les Figures.

de syntagme pour les langues de type OV, et donc fixer le paramètre « Tête-Complément » caractérisant leur langue maternelle, se créant par conséquent une représentation abstraite de l'ordre des mots, applicable à tout contexte nouvellement rencontré. Ainsi, dès l'âge de 2 mois, les bébés sont capables de discriminer une prosodie VO (comme le français) d'une prosodie OV (comme le turc), en se basant uniquement sur les différences prosodiques liées à l'accentuation à l'intérieur des syntagmes phonologiques, alors qu'aucune information phonémique n'est contenue dans la phrase⁴ (Christophe, Nespor, Teresa Guasti, & Van Ooyen, 2003). De même, les nourrissons confrontés à une langue mixte (comme l'allemand) vont également utiliser la prosodie pour discriminer les différents types de syntagmes verbaux (Bion, Höhle, & Schmitz, 2007).

Les patterns rythmiques varient donc selon les langues : typiquement, dans les langues « Tête-Complément », l'accentuation se situe en fin de syntagme (à droite), alors que dans les langues « Complément-Tête », l'accentuation se situe en début de syntagme (à gauche). Ainsi, en français, en anglais, et en italien, les syntagmes ont une accentuation dite *iambique* [non accentué – accentué], alors qu'en japonais, en turc, et en basque, les syntagmes ont une accentuation dite *trochaïque* [accentué – non accentué]. Ces deux types de langues varient non seulement par la position, mais aussi par la réalisation acoustique de la proéminence prosodique dans leurs syntagmes. C'est cette différence acoustique – directement perceptible – qui pourrait servir d'indice aux nourrissons pour le bootstrapping prosodique à travers un biais perceptif appelé la « loi iambo-trochaïque », qui leur permettrait de découper de façon appropriée les phrases entendues en syntagmes.

1.1.3 La loi iambo-trochaïque

La loi iambo-trochaïque (ITL pour *Iambic-Trochaic Law*) est un principe mis en évidence par Bolton (1894), et repris par Hayes (1985, 1995) et plus tard par Nespor et al. (2008), faisant état de la tendance observée chez les adultes à grouper deux types de variations rythmiques de deux manières différentes lors de l'écoute d'un flux continu :

- 1) Les éléments contrastant en *intensité* sont regroupés en séquences dans lesquelles l'accentuation est en placée en position initiale (trochaïque) ;

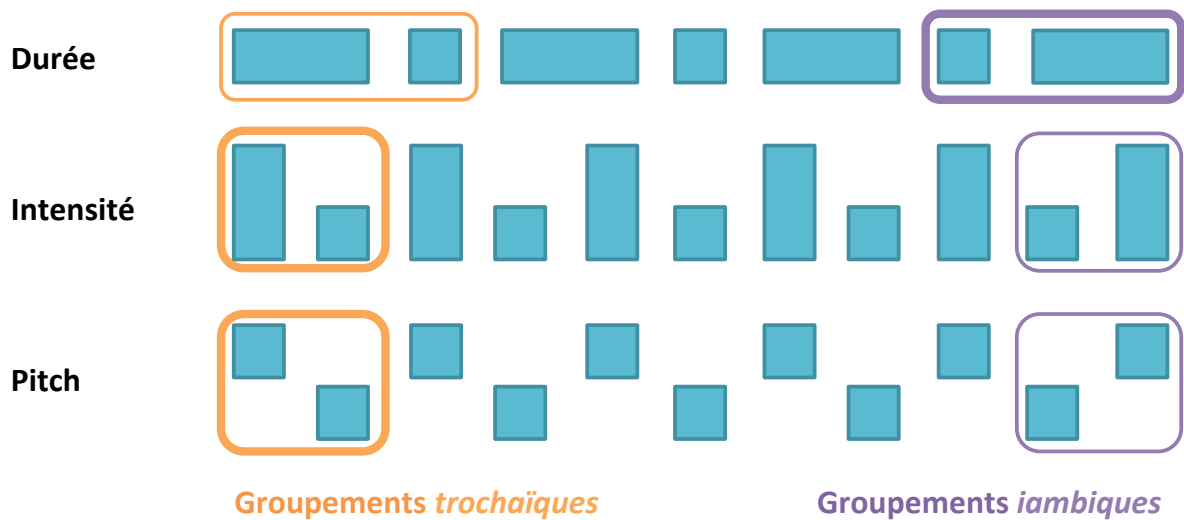
⁴ Dans le contexte spécifique de l'expérience (le langage naturel contenant bien sûr de l'information phonologique).

- 2) Alors que les éléments contrastant en *durée* sont regroupés en séquences dans lesquelles l'accentuation est en placée en position finale (iambique).

L'ITL stipule donc que lorsque nous entendons des séquences de sons qui varient en durée (séquences avec alternance binaire), nous avons tendance à les grouper de façon iambique : autrement dit, nous groupons les sons par paires en plaçant le son le plus court (non accentué) en premier dans la paire, et le son le plus long (accentué) en deuxième ; alors que quand nous entendons des séquences de sons qui varient en intensité, nous avons tendance à les grouper de façon trochaïque : nous plaçons préférentiellement le son le plus fort (accentué) en premier, et le son le moins fort (non accentué) en deuxième dans la paire. Ces biais de groupement ont été largement étudiés en psychologie (Bhatara et al., 2013; Boll-Avetisyan, Bhatara, Unger, Nazzi, & Höhle, 2015; Hay & Diehl, 1999, 2007; Iversen, Patel, & Ohgushi, 2008) : typiquement, on présente à des participants des séquences de sons créées artificiellement pour l'expérience, alternant soit en intensité, soit en durée, et on leur demande de choisir parmi deux propositions (schématisant soit un groupement iambique, soit un groupement trochaïque) celle qui correspond à la séquence entendue.

Plus récemment, des études ont montré que le pitch pourrait avoir un rôle similaire à l'intensité (de la Mora, Nespors, & Toro, 2013 ; Bhatara, Boll-Avetisyan, Unger, Nazzi, & Höhle, 2013 ; Bion, Benavides-Varela, & Nespors, 2011 ; Nespors et al., 2008) : ainsi, les éléments contrastant en *pitch* sont regroupés en séquences dans lesquelles l'accentuation (le son plus aigu) est en placée en position initiale (trochaïque) (Figure 1-2).

Figure 1-2 : Groupements iambiques et trochaïques pour les trois indices acoustiques (durée, intensité, et pitch). Les traits plus épais représentent les biais de groupement selon la loi iambo-trochaïque.



A l'origine, c'est donc Bolton (1894) qui a mis en évidence le rythme comme étant un phénomène universel, retrouvé à la fois dans la nature, dans l'activité physiologique, et dans la parole. Pour lui, les phénomènes naturels prennent, généralement sinon universellement, une forme rythmique :

"There is a periodic recurrence of a certain phenomenon, sometimes accompanied by others, going on continuously in all that pertains to nature. Motion, whether in the broader field of the universe or upon the earth, is very generally periodic. Light, heat, sound, and probably electricity, are propagated in the form of waves." (Bolton, 1894, 146)

"No fact is more familiar to the physiologist than the rhythmic character of many physiological processes. In physiology it means the regular alternation of periods of activity and periods of repose or of lesser activity." (Bolton, 1894, 149)

"The most distinguishing, and in many respects the most important, function of the human body is vocal utterance and articulate speech. [...] Speech becomes rhythmical not simply by sounds succeeded by pauses, but also by the regular recurrence of strongly accented sounds in a series. [...] Every word that contains more than one syllable consists of strong and weak syllables." (Bolton, 1894, 156)

« Il y a une récurrence périodique d'un certain phénomène, parfois accompagné par d'autres, qui se poursuit sans interruption dans tout ce qui se rapporte à la nature. Le mouvement, que ce soit dans le domaine large de l'univers, ou sur la terre, est très généralement périodique. La lumière, la chaleur, le son, et probablement l'électricité, sont propagés sous forme d'ondes. »

« Aucun fait n'est plus familier au physiologiste que le caractère rythmique de nombreux processus physiologiques. En physiologie, cela signifie l'alternance régulière de périodes d'activité et de périodes de repos ou de moindre activité. »

« La plus distinctive, et à bien des égards la plus importante, fonction du corps humain est l'expression vocale et le langage articulé. [...] La parole devient rythmique non pas simplement par des sons suivis par des pauses, mais aussi par la récurrence régulière de sons fortement accentués dans une série. [...] Chaque mot qui contient plus d'une syllabe est constitué de syllabes fortes et de syllabes faibles. »

Bolton a alors illustré ce phénomène de groupement en utilisant des exemples de la vie quotidienne : la propension humaine pour les groupes auditifs est si forte qu'elle est même appliquée à des séquences de sons physiquement identiques. Par exemple, le bruit d'un métronome ou d'une pendule va être perçu comme un tic-tac, alors qu'en réalité chaque son est un tic isochrone parfaitement identique (Bolton, 1894).

Ce biais a d'abord été proposé pour expliquer le groupement de séquences musicales (Bolton, 1894 ; Cooper & Meyer, 1960 ; Woodrow, 1951). Par exemple, Cooper et Meyer (1960) ont mis en évidence cinq types rythmiques musicaux, décrits par rapport à la terminologie des pieds en poésie, et déterminés en fonction de la distribution des groupes d'éléments accentués et non accentués : le trochée (*fort – faible*), l'iambe (*faible – fort*), le dactyle (*fort – faible – faible*), l'anapeste (*faible – faible – fort*), et l'amphibraque (*faible – fort – faible*). Le trochée et l'iambe ont ensuite été étendus au langage, pour expliquer les régularités observées dans sa production, et les biais observés dans sa perception.

Le groupement de ces variations de durée, d'intensité, et de pitch dans le signal de parole repose sur la capacité à percevoir et à discriminer des contrastes dans ces dimensions acoustiques dès le plus bas niveau de l'audition. Les capacités psychoacoustiques sont rarement mentionnées lors de la discussion de l'acquisition du langage. Néanmoins il est

théoriquement très pertinent de regarder les liens entre les deux pour comprendre l'acquisition du langage dans son intégralité, car c'est la perception auditive qui fournit l'input à l'acquisition du langage.

Le but de cette thèse est d'explorer ce lien dans le développement typique et atypique – l'autisme présentant une opportunité particulièrement pertinente étant donnée la variabilité des aptitudes langagières selon le niveau où se situent les individus sur le spectre, et l'hypersensibilité mise en évidence dans ce trouble.

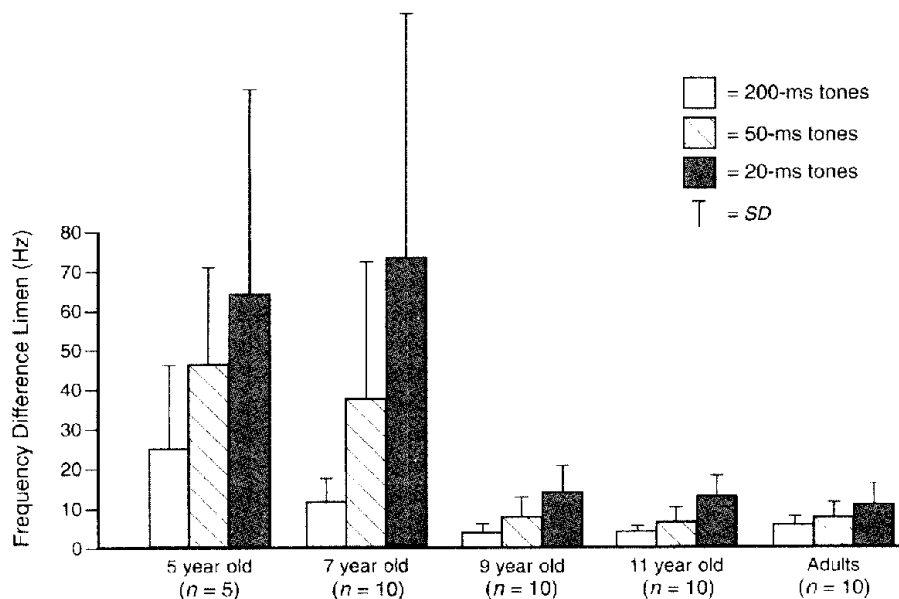
1.2 Le développement de l'audition et des seuils de discrimination

Bien avant sa naissance, le fœtus est capable de percevoir le signal acoustique de parole (Pujol, Lavigne-Rebillard, & Lenoir, 1997). Lorsqu'il vient au monde, le nouveau-né possède déjà un système auditif bien développé, bien que différent de celui de l'adulte. Ce n'est qu'aux environs de 12 ans que le système auditif et les structures auditives seront pleinement développées (Moore & Linthicum, 2007; Moore, 2002).

Pour tester les seuils de discrimination auditive, plusieurs méthodes sont employées selon l'âge des participants (pour une revue de la littérature, voir : Saffran, Werker, & Werner, 2006). Globalement, la procédure consiste à présenter plusieurs sons, parmi lesquels un son est déviant ; la tâche est d'identifier le son déviant. On commence par présenter des sons facilement discriminables, et, au fur et à mesure de la procédure, l'écart entre les sons se réduit, et le son déviant devient de plus en plus difficile à discriminer. Le seuil de discrimination est alors calculé sur la moyenne des dernières réussites ou des derniers essais. Pour les nourrissons, deux grands types de procédures sont utilisées : lorsque les bébés sont âgés d'au moins 6 mois, on les conditionne à orienter la tête vers un stimulus visuel (lumière ou image) associé à un stimulus auditif, uniquement quand le son approprié apparaît, et pour les bébés de 1 à 6 mois, on enregistre n'importe quelle réponse comportementale que le bébé fait lorsqu'il entend un changement de son. A partir de 3 ans, la procédure est similaire pour les enfants et les adultes : il s'agit le plus souvent d'une procédure à choix forcé, présentant plusieurs stimuli auditifs successivement (des tons purs seuls ou regroupés par paires) ; la tâche est d'identifier le son différent ou la paire de sons composée de deux sons différents.

En ce qui concerne la discrimination du pitch, les bébés y sont probablement sensibles dès la naissance (Nazzi, Floccia, & Bertoni, 1998), mais cette sensibilité évolue avec le développement. Les performances des nourrissons de 6 mois de vie varient selon la fréquence présentée : ils ont besoin d'une différence deux fois supérieure à celle dont les adultes ont besoin pour détecter un changement de pitch en-deçà de 2000 Herz, mais peuvent détecter les plus hautes fréquences aussi bien que les adultes (Olsho, 1984) (par exemple, les bébés de 6 mois peuvent discriminer un changement 10 Herz pour des fréquences de référence de 250 Herz et de 1000 Herz, alors que les adultes peuvent discriminer des variations de 5-6 Herz pour ces mêmes fréquences). Par ailleurs, les bébés de 3 mois se comportent à peu près de la même façon que les bébés de 6 mois pour le pitch de basses fréquences, mais montrent des seuils plus élevés (moins fins) pour le pitch de hautes fréquences (Olsho, Koch, & Halpin, 1987; Sinnott & Aslin, 1985). Mais les résultats sont contrastés dès lors que l'on s'intéresse à de jeunes enfants. En effet, de nombreuses études ont montré que les enfants préscolaires et scolaires n'atteignaient pas le niveau des adultes avant l'âge de 10 ans (Jensen & Neff, 1993; Maxon & Hochberg, 1982; Thompson, Cranford, & Hoyer, 1999) : tout comme les nourrissons, les enfants de 4 ans ont plus de difficulté à discriminer les basses fréquences qu'à discriminer les hautes fréquences ; en revanche, il semblerait en fait que les seuils de discrimination pour les hautes fréquences continuent à s'affiner entre 4 et 12 ans, et ne soient donc pas *adult-like* dès 6 mois. En somme, les changements majeurs dans les capacités de discrimination pour le pitch de hautes fréquences semblent se produire dans les six premiers mois de vie, alors que les changements majeurs pour la discrimination des basses fréquences semblent apparaître entre 4 et 6 ans, avec une amélioration progressive jusqu'à l'âge de 10-11 ans (Figure 1-3).

Figure 1-3 : Moyennes et écarts-types des seuils de discrimination moyens, pour des fréquences de référence de 100 Hz (200-ms tones), de 150 Hz (50-ms tones) et de 200 Hz (20-ms tones), pour des enfants de 5 à 11 ans et pour des adultes (Figure issue de Thompson et al., 1999).



Pour ce qui est de la discrimination de l'intensité, les quelques recherches existantes ont montré que les bébés avaient des seuils plus hauts que les adultes : les nourrissons de 7 à 9 mois sont capables de discriminer des sons de 6 dB de différence à une fréquence de 1000 Hz, alors que les adultes peuvent discriminer des sons variant de 2 dB à cette même fréquence (Sinnott & Aslin, 1985; Tarquinio, Zelazo, & Weiss, 1990). Aucune étude ne s'est intéressée aux seuils de discrimination de l'intensité entre 9 mois de vie et 4 ans. A partir de 4 ans, les seuils des enfants s'améliorent progressivement et régulièrement jusqu'à l'âge de 12 ans (Maxon & Hochberg, 1982) ; ce n'est qu'à partir de 8 ou 10 ans que les enfants peuvent avoir des performances similaires aux adultes.

Enfin, concernant la durée, les nourrissons de 2 mois de vie peuvent discriminer des variations de 20 msec lorsque la durée de référence est de 200 ou 300 msec, soit un ratio de 10%, alors que, dans les mêmes conditions, les enfants de 5 à 6 ans peuvent discriminer des changements de 15 msec, et les adultes des changements de 10 msec (Jusczyk, Pisoni, Reed, Fernald, & Myers, 1983; Morrongiello & Trehub, 1987). Néanmoins, deux autres études utilisant une procédure différente ont mis en évidence que les enfants de 4 avaient besoin d'un ratio de 50% pour pouvoir discriminer des sons d'une durée de référence de 300 ou 400

msec (Elfenbein, Small, & Davis, 1993; Jensen & Neff, 1993), le niveau des adultes n'étant pas atteint avant l'âge de 10 ans.

Globalement, les variations observées entre les différentes études susmentionnées peuvent être expliquées par les paramètres différents des sons utilisés, ainsi que par les procédures expérimentales différentes. En effet, certaines études ne présentent que deux stimuli auditifs dont un est déviant (Banai, Fisher, & Ganot, 2012; Maxon & Hochberg, 1982), d'autres présentent trois stimuli dont un est déviant (Banai & Yuval-Weiss, 2013; Buss, Hall, & Grose, 2009; Elfenbein et al., 1993; Jensen & Neff, 1993; D. R. Moore, Cowan, Riley, Edmondson-Jones, & Ferguson, 2011; D. R. Moore, Ferguson, Halliday, & Riley, 2008), et parmi ces études, certaines utilisent des sons isolés et d'autres des paires de sons, ce qui rend la décision, quant à la valeur des seuils, extrêmement difficile.

Ce travail de thèse, permettra, entre autres, de déterminer les seuils de discrimination auditive des enfants préscolaires et scolaires, et des adultes, pour la durée et pour le pitch, en utilisant la même procédure pour tous les âges de développement, et pour chacune des deux conditions. Etant donnée la variabilité de l'intensité acoustique selon l'environnement dans lequel elle se propage, nous avons choisi de ne pas tester les seuils de discrimination pour cet indice, car les conditions de *testing* étaient différentes en fonction des participants ; en effet, comme nous nous sommes déplacés sur tout le territoire national, il aurait été impossible de réunir des conditions expérimentales strictement identiques pour tous les participants (pas de cabine insonorisée chez les familles, par exemple). Quoi qu'il en soit, aucune étude psychoacoustique ne s'est penchée sur les capacités de discrimination d'un échantillon aussi large que le nôtre : de très jeunes enfants dès l'âge de 3 ans, jusqu'à des adultes de 60 ans. Cette recherche est donc non seulement la première à s'intéresser aux seuils de discrimination des enfants de 3 ans, apportant ainsi des résultats complémentaires à la littérature déjà existante, mais également la première à utiliser la même procédure expérimentale pour l'ensemble de cette large tranche d'âge, permettant ainsi une comparaison des seuils en fonction des âges. Par ailleurs, il n'existe quasiment pas de données concernant des enfants non-anglophones, et, même si l'on ne s'attend pas à une différence inter-langue ou interculturelle, cela doit être vérifié empiriquement.

On sait que la discrimination des trois indices prosodiques, que sont la durée, l'intensité, et le pitch, varie au cours du développement. On sait aussi que les nourrissons peuvent utiliser la prosodie au niveau du syntagme pour déduire l'ordre des mots de leur langue maternelle, par des mécanismes de *bootstrapping* (Bernard & Gervain, 2012; Bion, Benavides-Varela, & Nespor, 2011b; Gervain & Werker, 2013). Il se trouve que le traitement de la prosodie joue un rôle crucial durant l'acquisition du langage, en amorçant l'acquisition de nombreuses propriétés abstraites (Morgan & Demuth, 1996a; Nespor & Vogel, 1986). Par exemple, vers 7 mois de vie, les nourrissons préfèrent les mots portant des accents typiques de leur langue native (Bijeljac-Babic, Serres, Höhle, & Nazzi, 2012; Höhle, Bijeljac-Babić, Herold, Weissenborn, & Nazzi, 2009; Jusczyk et al., 1993; Jusczyk, Houston, & Newsome, 1999; Morgan & Saffran, 1995), et, au même âge, ils sont capables d'utiliser les patterns caractéristiques de leur langue maternelle (accentuation typique des mots, séquences de phonèmes plus fréquentes que d'autres, cooccurrences de phonèmes statistiquement plus régulières, etc.) pour segmenter le flux de parole continu en mots (Jusczyk et al., 1999; Mattys & Jusczyk, 2001; Mersad & Nazzi, 2012; Nazzi, Iakimova, Bertoncini, Fredonie, & Alcantara, 2006; Saffran, Newport, & Aslin, 1996). La façon dont la prosodie aide les enfants à acquérir le lexique et la grammaire de leur langue maternelle a fait l'objet de nombreuses recherches durant les vingt dernières années ; c'est ce que nous allons voir dans la partie suivante.

1.3 La perception de la prosodie dans le développement typique

1.3.1 Chez le nourrisson

La sensibilité à la prosodie apparaît très tôt dans le développement. Dès la naissance, par exemple, les nourrissons sont capables de discriminer des langues entre elles lorsqu'elles diffèrent par leur rythme (Nazzi, Bertoncini, & Mehler, 1998; Nazzi & Ramus, 2003; Ramus, Nespor, & Mehler, 1999; Ramus, Pallier, Dupoux, & Dehaene-Lambertz, 2002). De plus, les cris communicatifs des nouveau-nés montrent des similarités avec les patterns prosodiques des langues qu'ils entendent *in utero*, mettant en évidence une capacité d'apprentissage prénatal de la prosodie (Mampe et al., 2009). Par ailleurs, la sensibilité prosodique chez les nouveau-nés semble dépendre de leur langue maternelle : alors que des nourrissons

monolingues francophones ne vont pas être sensibles aux variations d'intensité et de pitch, mais vont discriminer les groupements iambiques des groupements trochaïques lorsqu'ils sont confrontés à des séquences variant en durée, les nourrissons bilingues francophones, exposés à une langue ayant des variations de pitch plus importantes que le français au niveau phonologique, vont discriminer les patterns iambiques des patterns trochaïques lorsqu'ils sont confrontés à des séquences variant en pitch (Abboub, 2015).

Un peu plus tard dans le développement, entre 6 et 9 mois, certains nourrissons vont développer un biais trochaïque : une tendance à préférer les patterns trochaïques plutôt que les patterns iambiques. C'est ce qu'ont montré, entre autres, Jusczyk, Cutler, et Redanz (1993). Cette équipe américaine a présenté des listes de mots bisyllabiques à des bébés anglophones de 6 et 9 mois. Ces mots étaient de deux types : soit ils respectaient un pattern iambique, soit ils respectaient un pattern trochaïque (les mots ont été enregistrés par une jeune femme native anglophone, de ce fait, les syllabes accentuées l'étaient sur les trois paramètres simultanément : une durée plus longue, une intensité plus forte, et un pitch plus aigu). Les chercheurs ont mesuré les temps de regard des bébés lors de l'écoute des deux types de stimuli. Les résultats ont montré que les nourrissons américains de 9 mois regardent plus longtemps les listes de mots trochaïques (qui reproduisent le pattern prédominant des mots en anglais), comparativement aux listes de mots iambiques, alors que les nourrissons de 6 mois ne montrent aucune préférence, suggérant une émergence du biais trochaïque entre 6 et 9 mois de vie.

Toutefois, Höhle et al. (2009) ont mis en évidence un biais trochaïque chez des nourrissons allemands, dès l'âge de 6 mois. Cette équipe a présenté des séquences bisyllabiques variant en durée et en pitch (enregistrés par une locutrice allemande), à des nourrissons germanophones de 4 et 6 mois, et des nourrissons francophones de 6 mois. Les résultats montrent que, bien que les bébés francophones de 6 mois soient capables de discriminer les séquences iambiques des séquences trochaïques, seuls les bébés germanophones de 6 mois montrent une préférence pour les séquences trochaïques par rapport aux séquences iambiques. Ces résultats suggèrent une émergence du biais trochaïque entre 4 et 6 mois de vie chez les nourrissons allemands. De plus, il semblerait que ce biais soit dépendant de l'environnement linguistique dans lequel grandissent les bébés, ce biais n'étant pas retrouvé chez des bébés francophones de 6 mois (Höhle et al., 2009). Par ailleurs, les capacités de discrimination des patterns iambiques *versus* trochaïques semblent

s'amoinrir chez les nourrissons francophones à partir de 10 mois de vie : à cet âge, pour pouvoir discriminer les deux types de séquences, ils ont besoin d'un temps de familiarisation plus long que les bébés germanophones de 6 mois, confirmant les différences cross-linguistiques retrouvées dans les études précédentes (Bijeljac-Babic, Serres, Höhle, & Nazzi, 2012; Höhle, Bijeljac-Babić, Herold, Weissenborn, & Nazzi, 2009; Skoruppa et al., 2009).

La première étude à s'être intéressée à l'ITL en tant que telle chez les bébés est celle de Trainor et Adams (2000). Cette étude a montré que les bébés anglophones de 8 mois sont sensibles à la durée, et groupent les séquences de tons purs variant en durée de façon iambique, mais ne sont pas sensibles à l'intensité (ils ne groupent pas les séquences de sons variant en intensité de façon trochaïque ou iambique). De même, en utilisant le même type de stimuli que Trainor et Adams (2000), Yoshida et al. (2010) se sont intéressés à la perception de la durée dans l'ITL, en comparant quatre groupes de nourrissons monolingues : deux groupes de 5-6 mois, et deux groupes de 7-8 mois, de deux langues maternelles différentes (anglais canadien *versus* japonais). Ces chercheurs ont montré que les deux groupes de bébés de 5-6 mois ne montrent aucune préférence quant à l'organisation des tons purs variant en durée, alors qu'un effet cross-linguistique est retrouvé à 7-8 mois, avec des préférences spécifiques à langue maternelle des nourrissons : les bébés monolingues anglais montrent une perception iambique des séquences, tout comme les adultes anglophones dans Iversen et al. (2008), tandis que les bébés japonais n'ont pas de préférence, tout comme les adultes japonais. Les auteurs ont interprété ces résultats comme montrant une perception prosodique au niveau des syntagmes. En effet, l'anglais a une accentuation trochaïque au niveau du mot, mais iambique au niveau des syntagmes, réalisée par un contraste de durée, ce qui justifierait la réponse des bébés anglophones. Le japonais, au contraire, a une accentuation syntagmatique trochaïque, marquée par un contraste de pitch (Gervain & Werker, 2013) ; l'absence de contraste de durée dans la prosodie japonaise expliquerait l'absence de préférence des bébés japonais.

A contrario, une équipe italienne (Bion, Benavides-Varela, & Nespor, 2011) a montré que des bébés monolingues italiens de 7 mois n'ont pas de préférence quant à l'organisation de séquences lorsqu'ils ont été familiarisés avec des syllabes variant en durée, mais écoutent davantage les séquences trochaïques lorsqu'ils ont été familiarisés avec des syllabes variant en pitch.

Ces deux dernières études suggèrent que les préférences de groupement prosodique commencent à émerger vers l'âge de 7-8 mois chez les bébés monolingues. Des résultats similaires ont été obtenus par une équipe américaine (Hay & Saffran, 2012), dans une étude où les indices prosodiques (durée ou intensité) étaient combinés à des indices statistiques (probabilité transitionnelle entre des syllabes), dans une tâche de segmentation : les nourrissons monolingues francophones de 9 mois sont capables d'utiliser l'intensité comme indice indiquant le début d'une séquence (ils extraient des *trochées* plutôt que des *iambes*), et la durée comme indice terminant une séquence (ils extraient des *iambes* plutôt que des *trochées*), aussi bien avec des stimuli linguistiques (syllabes) que non linguistiques (tons purs), alors que les nourrissons de 6 mois ½ ne sont capables d'utiliser que l'indice d'intensité, mais pas la durée.

Récemment, une équipe basque (Molnar, Lallier, & Carreiras, 2014) a mis en évidence des résultats similaires pour l'intensité chez des bébés bilingues basque – espagnol âgés entre 9 et 10 mois : en utilisant une procédure similaire à Trainor et Adams (2000) et Yoshida et al. (2010), les auteurs ont montré que les bébés, quelle que soit leur langue dominante (basque ou espagnol), écoutent plus longtemps les groupements trochaïques dans la condition intensité. En revanche, ce biais iambique n'est pas retrouvé chez des nourrissons français et allemands de 7-8 mois avec des syllabes (Abboub, 2015). De plus, les résultats s'avèrent différents pour la durée ; tout comme Yoshida et al. (2010), les auteurs trouvent un effet cross-linguistique : les bébés ayant l'espagnol comme langue dominante écoutent davantage les groupements trochaïques, alors que les bébés ayant le basque comme langue dominante n'ont pas de préférence, bien qu'une analyse de corrélation ait révélé un effet du pourcentage d'exposition au basque : plus les nourrissons sont exposés au basque, et plus ils préfèrent les groupements iambiques.

Tableau 1-1 : Tableau récapitulatif des études ITL réalisées chez le bébé (issu de Abboub, 2015).

Etude	Langue		Stimulus	Age	Tâche	Durée de la familiarisation	Préférence	Effet
Trainor & Adams, 2000	anglais	Monolingues	Tons complexes	8 mois	Détection de silences			nouveauté
Yoshida et al. 2010	anglais	Monolingues	Tons complexes	5-6 mois	Segmentation	2 mn	aucune	-
				7-8 mois	Segmentation	2 mn	trochaïque	nouveauté
	japonais	Monolingues		5-6 mois	Segmentation	2 mn	aucune	-
				7-8 mois	Segmentation	2 mn	tendance iambique	familiarité
Bion et al. 2011	italien	Monolingues	Syllabes	7-8 mois	Segmentation	3 mn	aucune	-
Hay & Saffran, 2012	anglais	Monolingues	Syllabes	6 mois	Segmentation	3 mn	aucune	-
				9 mois	Segmentation	3 mn	iambique	familiarité
			Tons	9 mois	Segmentation	3 mn	tendance iambique	familiarité
Molnar et al. 2014	espagnol & basque	Bilingues espagnol dominant	Tons	9 mois	Segmentation	1,5 mn	trochaïque	nouveauté
	espagnol & basque	Bilingues basque dominant	Tons	9 mois	Segmentation	1,5 mn	tendance iambique	familiarité
Trainor & Adams, 2000	anglais	Monolingues	Tons complexes	8 mois	Détection de silences			-
Hay & Saffran, 2012	anglais	Monolingues	Syllabes	6 mois	Segmentation	3 mn	trochaïque	familiarité
				9 mois	Segmentation	3 mn	trochaïque	familiarité
			Tons	9 mois	Segmentation	3 mn	trochaïque	familiarité
Molnar et al. 2014	espagnol & basque	Bilingues espagnol dominant	Tons	9 mois	Segmentation	1,5 mn	trochaïque	familiarité
	espagnol & basque	Bilingues basque dominant	Tons	9 mois	Segmentation	1,5 mn	trochaïque	familiarité
Bion et al. 2011	italien	Monolingues	Syllabes	7-8 mois	Segmentation	3 mn	trochaïque	familiarité

Tous ces travaux, synthétisés dans le Tableau 1-1, convergent vers l'idée commune que les bébés sont sensibles à l'ITL à un âge très précoce, mais que cette sensibilité varie, d'une part, selon les trois indices prosodiques (durée, intensité, et pitch), et, d'autre part, selon l'environnement linguistique des nourrissons. Qu'en est-il de l'adulte ?

1.3.2 Chez l'adulte

Selon Hayes (1985), la loi iambo-trochaïque serait une tendance naturelle et universelle chez l'Homme. Une étude de Hay & Diehl (1999) va même plus loin. Les auteurs ont testé l'ITL chez des adultes anglophones, en leur présentant des séquences de signaux carrés, alternant soit en durée, soit en intensité, soit en pitch (variation de la fréquence fondamentale F_0). Les résultats révèlent que les participants ont tendance à grouper trochaïquement les séquences variant en intensité et en pitch, et iambiquement les séquences variant en intensité. De plus, le biais iambique semble être particulièrement important car les participants groupent également les séquences neutres de façon iambique dans la condition durée, ce qui n'est pas le cas avec les séquences neutres dans les conditions intensité et pitch. Quelques années plus tard, ces mêmes auteurs ont répliqué leur précédente étude : un des objectifs était de déterminer si l'ITL reflétait des biais auditifs généraux, indépendamment de l'expérience linguistique (Hay & Diehl, 2007). Dans les expériences 1 et 2, les auteurs ont examiné si l'ITL s'appliquait de manière similaire à des

stimuli linguistiques et non linguistiques, pour la durée et l'intensité, et dans l'expérience 2, ils ont comparé les réponses pour deux groupes de participants ayant deux langues maternelles différentes (le français pour l'un, et l'anglais pour l'autre). Les résultats révèlent que les deux types de stimuli (linguistiques et non linguistiques) sont groupés de la même manière : iambiquement pour la durée, et trochaïquement pour l'intensité, et ce, quelle que soit la langue maternelle des participants, soutenant l'idée que l'ITL reflète des biais auditifs généraux, indépendamment de l'expérience linguistique.

A contrario, Iversen et al. (2008) ont mis en évidence des différences cross-linguistiques entre des locuteurs anglais et des locuteurs japonais. En effet, alors que les auteurs ne trouvent aucune différence dans le groupement de tons purs variant en intensité (les deux groupant les séquences trochaïquement), seuls les participants de langue maternelle anglaise montrent un biais iambique pour la durée ; les participants de langue maternelle japonaise, eux, ne groupent pas plus iambiquement (ni trochaïquement d'ailleurs), les tons purs variant en durée. De même, Bhatara et al. (2013) ont montré des différences cross-linguistiques entre des locuteurs allemands et des locuteurs français. De façon surprenante, les deux groupes de participants perçoivent les séquences de syllabes variant en durée de façon iambique lorsque ces dernières sont mélangées à des séquences de syllabes variant en intensité, mais pas lorsqu'elles sont mélangées à des séquences de syllabes variant en pitch : dans cette dernière condition, seuls les participants de langue maternelle allemande groupent les séquences de façon iambique. De plus, alors que les deux groupes montrent un biais trochaïque pour l'intensité, seuls les locuteurs allemands montrent un biais trochaïque pour le pitch. Ce biais trochaïque pour le pitch a également été retrouvé chez des locuteurs italiens (Bion et al., 2011) et espagnols (de la Mora et al., 2013).

L'ensemble de ces résultats suggèrent que le groupement de tons non linguistiques alternant en durée (court-long *versus* long-court) ou en pitch (aigu-grave *versus* grave-aigu) semble être modelé par l'expérience langagière, aussi bien chez l'adulte que chez l'enfant (Bhatara et al., in press; Iversen et al., 2008; Yoshida et al., 2010), alors que le groupement de tons non linguistiques variant en intensité (fort-faible *versus* faible-fort) semble être gouverné par un biais universel, indépendamment de l'expérience linguistique (Bhatara et al., 2013; Iversen et al., 2008). En effet, les bébés et les adultes préfèrent généralement grouper les sons variant en intensité dans un pattern fort-faible, et ce quelle(s) que soi(en)t

leur(s) langue(s) maternelle(s) (Hayes, 1995). De plus, il semblerait que les préférences de groupements rythmiques basés sur la durée se développent en fonction de l'expérience et de la prosodie syntagmatique rencontrée dans la langue maternelle (Iversen et al., 2008), et que ces préférences durant les premières années de vie reflètent des sensibilités perceptives précoces en lien avec l'acquisition de la syntaxe (avec le mécanisme de bootstrapping de l'ordre des mots par exemple, Nespor et al., 1996, 2008; Yoshida et al., 2010).

Toutefois, ces variabilités quant aux groupements selon les indices et les langues maternelles peuvent en partie être dues au fait que toutes les études citées précédemment n'utilisent pas le même matériel expérimental : certaines utilisent des tons purs, d'autres des tons complexes, d'autres des syllabes formant des pseudo-mots, et d'autres encore des mots portant un sens. Le but de ce travail de thèse sera donc, pour partie, de tester la sensibilité à l'ITL, en investiguant les trois indices (durée, intensité, et pitch) de la même manière, à deux niveaux de traitement (un traitement de bas niveau avec des tons purs, et un traitement de plus haut niveau avec des pseudo-mots).

Toutes les études précédentes portent sur des populations au développement typique ; l'étude de populations atypiques pour lesquelles la perception auditive semble être perturbée, pourrait donner davantage d'informations quant aux rôles de l'ITL et de la perception auditive dans l'acquisition du langage. En effet, il se peut qu'un trouble de la perception auditive de bas niveau puisse perturber la perception des indices prosodiques pertinents pour l'acquisition du langage, et ainsi gêner le développement linguistique : si des individus perçoivent plus finement, ou moins finement, les variations acoustiques et les prééminences prosodiques, comment pourraient-ils faire le tri entre les informations pertinentes et non pertinentes pour l'apprentissage de leur langue maternelle ?

L'ITL étant à la base de l'apprentissage de la grammaire, de la syntaxe, et de l'ordre des mots, par le mécanisme de bootstrapping prosodique, il est particulièrement pertinent d'étudier le lien entre perception de bas niveau, et sensibilité à l'ITL dans des populations où l'acquisition du langage oral est perturbée, voire absente.

1.4 Les capacités auditives et la perception de la prosodie dans le développement atypique

Dans ce travail de thèse, nous avons choisi de nous intéresser à deux populations ayant un développement atypique du langage : le trouble du spectre autistique, caractérisé par une altération qualitative de la communication, pouvant aller jusqu'à l'absence quasi-totale de langage, et le syndrome de Williams, caractérisé par un décalage temporel du développement du langage associé néanmoins à de bonnes capacités de communication sociale lorsqu'il émerge. L'intérêt de ces deux populations est double. D'abord, cette étude vise à mieux comprendre la nature et l'origine des troubles du développement langagier dans ces deux populations. Ensuite, cette étude nous permettra d'enrichir notre compréhension théorique des mécanismes sous-jacents à l'acquisition du langage, et les contraintes qui s'y appliquent. Les deux populations que nous avons choisies sont donc particulièrement pertinentes puisque, 1) elles présentent des profils linguistiques relativement opposés, 2) les comparer entre elles nous permettrait de tester des prédictions contrastées et de poser des questions de spécificité de déficit, et 3) les comparer au développement typique nous permettrait de déterminer les caractéristiques perceptives prosodiques qui distinguent le développement atypique du développement typique, et qui sont donc essentielle pour une acquisition ordinaire du langage.

1.4.1 Le Trouble du Spectre Autistique (TSA)

1.4.1.1 Description du trouble

Le trouble du spectre autistique (TSA) est un trouble neuro-développemental caractérisé par des troubles de la communication sociale et des comportements restreints et répétitifs (DSM-5, American Psychiatric Association, 2013 ; CIM-10, Organisation Mondiale de la Santé, 1993). Cette définition est relativement récente, le DSM-IV-TR (American Psychiatric Association, 2005) considérant le trouble autistique (parfois appelé Autisme précoce, Autisme infantile ou Autisme de Kanner) comme un trouble envahissant du développement (TED), au même titre que le syndrome d'Asperger, le trouble désintégratif de l'enfance, les troubles envahissants du développement non spécifiés (TED-NS) ou le

syndrome de Rett⁵. Le DSM-5 ne fait donc plus de distinction entre ces différents sous-types de TED. Par ailleurs, alors que le DSM-IV-TR caractérisait le trouble autistique par une triade de symptômes (une altération qualitative des interactions sociales, une altération qualitative de la communication (verbale et non verbale), et le caractère restreint, répétitif et stéréotypé des comportements, des intérêts, et des activités), le DSM-5 ne considère plus que deux catégories de symptômes : des déficits persistants dans la communication sociale et les interactions sociales dans de multiples contextes (les problèmes sociaux et de communication sont donc réunis), ainsi qu'un mode restreint et répétitif de comportements, d'intérêts ou d'activités. De plus, le DSM-5 ne comprend plus le retard ou l'absence de langage parmi la catégorie « trouble de la communication et des interactions sociales », mais voit apparaître un nouveau symptôme : la sensibilité inhabituelle aux stimuli sensoriels (hyper- ou hypo-sensibilité) dans la catégorie « comportements répétitifs ». Ce premier changement (suppression de l'élément « retard de langage ») permet, entre autre, d'intégrer le syndrome d'Asperger au TSA sans le distinguer du trouble autistique. En effet, le DSM-IV-TR stipulait que, « à la différence du trouble autistique, il n'existe pas de retard ou d'anomalie cliniquement significatifs à l'acquisition du langage dans le syndrome d'Asperger (par exemple, des mots isolés, non écholaliques, à valeur de communication, ont été prononcés vers l'âge de 2 ans et des phrases à valeur de communication ont été spontanément utilisées vers l'âge de 3 ans) » (American Psychiatric Association, 2005, 93).

En France, en 2010, la prévalence de l'autisme était de 20 enfants pour 10 000, et la prévalence du TED de 60 à 70 enfants pour 10 000 (soit environ un enfant sur 150) (Haute Autorité de Santé, 2010). Ce trouble touche quatre à cinq fois plus de garçons que de filles – les filles présentant souvent une déficience intellectuelle plus sévère (American Psychiatric Association, 2005) – sans distinction de race ou de situation socioéconomique, dans de nombreux pays (Autisme Europe, 2008)⁶, et semble être causé par des mutations génétiques ou des aberrations chromosomiques (pour une revue de la littérature, voir Delorme & Mouren, 2012).

⁵ La Classification Internationale des Maladies (CIM-10) identifie huit catégories de TED. Sa définition et ses critères diagnostiques pour l'autisme sont presque les mêmes que ceux du DSM-V.

⁶ Toutefois, la prévalence de l'autisme semble ne pas être la même en fonction des pays. Par exemple, une étude américaine publiée en 2012 estime la prévalence du TSA à près de 1% des enfants aux Etats-Unis. Ou encore, une étude sud-coréenne publiée en 2011, estime que 2,5% des enfants sud-coréens répondent aux critères diagnostiques du TSA (Durkin, 2013).

1.4.1.2 La perception auditive dans le TSA

1.4.1.2.1 Théories sur la perception auditive dans le TSA

Plusieurs théories tentent d'expliquer les difficultés de communication dans le TSA. D'une part celles qui proposent une altération de la cognition sociale, et d'autres part celles qui considèrent le TSA comme une différence plus générale affectant à la fois le traitement de l'information sociale et le traitement de l'information non sociale.

Les théories sociales se sont concentrées sur l'idée que le TSA reflète une difficulté à comprendre les émotions et à attribuer des états mentaux aux autres comme à eux-mêmes (hypothèse du déficit en Théorie de l'Esprit : difficultés à comprendre les désirs, les intentions, les connaissances et les croyances d'autrui) (pour une revue de la littérature, voir O'Connor, 2012; Valeri & Speranza, 2009) : ces théories sont fondées sur des études mettant en évidence un traitement atypique des stimuli sociaux dans deux modalités : visuelle et auditive.

Les théories généralistes sont principalement basées sur l'hypothèse de différences perceptives dans le TSA, résultant d'une amélioration du traitement de l'information locale et des détails. Trois grandes théories ont été proposées : la théorie de la faible cohérence centrale (WCC pour *Weak Central Coherence*), la théorie du fonctionnement perceptif amélioré (EPF pour *Enhanced Perceptual Functioning*), et l'hypothèse de la complexité neuronale (NCH pour *Neural Complexity Hypothesis*).

La théorie de la faible cohérence centrale a été proposée par Frith en 1989. Elle propose que le TSA est la conséquence d'une réduction de la tendance naturelle à intégrer les informations locales en un tout « global » cohérent, et d'une augmentation de l'attention locale (Frith, 1989; Happé & Frith, 2006). De ce fait, l'augmentation de la perception des détails pourrait engendrer une réduction de l'attention globale, entraînant ainsi une diminution du traitement de l'information dans son contexte. Cette hypothèse rejoint les résultats d'études suggérant que les personnes avec autisme auraient des difficultés à déplacer leur attention d'un niveau local à un niveau plus global (Plaisted, Swettenham, & Rees, 1999; Rinehart, Bradshaw, Moss, Brereton, & Tonge, 2001).

L'hypothèse du fonctionnement perceptif amélioré (Mottron & Burack, 2001; Mottron, Dawson, Soulières, Hubert, & Burack, 2006) stipule que le TSA résulterait d'une supériorité du traitement local, de par une augmentation de la perception d'informations simples, de bas niveau, en l'absence d'une diminution de la perception globale. Les personnes avec autisme montreraient ainsi des performances supérieures dans les modalités visuelles et auditives, dans toutes les tâches de bas niveau perceptif. Les systèmes de traitement de l'information, consacrés à la détection, à la discrimination, et à la catégorisation, de stimuli perceptifs, seraient améliorés dans le TSA. Mottron et Burack (2001), sont les premiers à mettre en évidence une supériorité des personnes avec autisme dans le traitement du pitch, plus particulièrement chez les autistes « savants » ou de haut niveau.

La dernière théorie généraliste, l'hypothèse de la complexité neuronale (Bertone, Mottron, Jelenic, & Faubert, 2005; Samson, Mottron, Jemel, Belin, & Ciocca, 2006), a été particulièrement utilisée pour décrire le traitement auditif dans le TSA. Cette hypothèse défend l'idée d'une perception de stimuli auditifs simples (de bas niveau) améliorée, additionnée à une perception d'informations auditives plus complexes altérée. Ainsi, les personnes avec autisme auraient des difficultés à traiter les informations spectro-temporelles complexes ; de moins bonnes performances dans les tâches auditives qui requièrent des opérations cognitives de haut-niveau (attention, compréhension) ; et de meilleures performances dans la perception de stimuli auditifs de bas-niveau.

Ces trois théories généralistes offrent des explications possibles quant à la supériorité des personnes avec autisme dans certaines tâches perceptives auditives, et notamment celles impliquant un traitement local (pour une revue de la littérature, voir Happé & Frith, 2006; Mottron et al., 2006). Il n'est donc pas surprenant qu'un des changements majeurs du DSM-5 soit qu'il intègre un nouveau symptôme parmi la catégorie des comportements stéréotypés et des intérêts restreints pour le TSA : une hyper- ou hypo-réactivité à des stimuli sensoriels ou un intérêt inhabituel envers des éléments sensoriels de l'environnement (par exemple, une indifférence à la douleur ou à la température, une fascination pour les lumières ou objets qui tournent, ou encore une réponse négative à certains sons ou textures). Bien qu'intégrées très récemment dans la symptomatologie de l'autisme, Kanner avait d'ores-et-déjà relevé des perturbations sensorielles chez les onze

enfants (huit garçons et trois filles) qu'il avait observés en 1943 : un évitement du regard, une attention particulière aux détails, une aversion pour le contact, une réactivité exacerbée à certains sons et bruits, ou encore une absence de réponse à son prénom (d'ailleurs, très souvent, les familles rapportent qu'avant le diagnostic de TSA, leurs enfants sont suspectés de surdité ; diagnostic qui est très vite écarté après examen ORL). Depuis, de nombreux chercheurs ont considéré le TSA comme un dysfonctionnement sensoriel (Ayres, 1979; Delacato, 1974; Ornitz, 1974), et, plus particulièrement, un grand nombre de travaux et de témoignages ont mis en évidence des preuves importantes du traitement atypique de l'information auditive dans l'autisme.

Ces différences auditives variées ont pu être identifiées dans des domaines auditifs divers, allant de la propriété physique des stimuli acoustiques à la perception de l'information auditive plus complexe comme la prosodie, et ce, par le biais de nombreux paradigmes expérimentaux (comportementaux et électrophysiologiques) utilisant des stimuli aussi bien linguistiques que non-linguistiques.

1.4.1.2.2 La perception auditive (de bas niveau)

Les individus TSA sont très souvent décrits comme ayant des réactions inhabituelles à leur environnement auditif, une même personne pouvant faire preuve d'hypersensibilité à certains bruits (par exemple : couvrir ses oreilles en réponse à des sons qui ne dérangent pas les autres), et d'hyposensibilité à d'autres (par exemple : ne s'orienter pas spontanément vers la voix de la mère lorsqu'elle s'adresse à lui) (Grandin, 1997; Leekam, Nieto, Libby, Wing, & Gould, 2007). De plus, la prévalence de l'oreille absolue dans l'autisme est plus importante que dans la population générale, touchant 5% des personnes TSA, contre 1 pour 10 000 dans la population typique (Takeuchi & Hulse, 1993).

Plusieurs études récentes suggèrent que les adolescents et les adultes TSA percevraient plus finement les variations de pitch que les sujets neurotypiques (Bonnel et al., 2010; Heaton, Hermelin, & Pring, 1998; Jones et al., 2009). Toutefois, certaines études ont mis en évidence que seules les personnes avec autisme – qui ont donc un retard de développement du langage – discriminaient mieux les tons purs variant en pitch que les individus NT, et non pas les personnes ayant le syndrome d'Asperger – ayant un

développement relativement typique du langage (Bonnel et al., 2003; Chevallier, Noveck, Happé, & Wilson, 2009; Lepistö et al., 2008).

Les recherches en imagerie cérébrales viennent confirmer ces résultats. Une étude en potentiels évoqués sur la perception d'une variation auditive (stimulus déviant parmi des stimuli répétés) a révélé une latence plus courte chez les sujets TSA que chez les sujets contrôles, témoignant d'une perception plus rapide du changement auditif chez les individus TSA (Gomot, Giard, Adrien, Barthélémy, & Bruneau, 2002). De plus, l'activité cérébrale dans le cortex auditif semble être plus importante chez les adolescents et adultes avec autisme que chez les personnes de même âge ayant le syndrome d'Asperger ou neurotypiques, lorsqu'ils ont à traiter des stimuli auditifs complexes (Samson et al., 2011).

Globalement, les études antérieures ont eu tendance à montrer une perception du pitch améliorée chez les personnes présentant un trouble du spectre autistique. Mais les résultats semblent varier selon l'âge des participants, selon leur niveau d'autisme, et également selon la procédure expérimentale et les stimuli utilisés. Il paraît donc nécessaire d'explorer la perception des indices acoustiques du langage (au moins le pitch et la durée), en utilisant la même procédure, sur une large tranche d'âge, et pour l'ensemble du spectre de l'autisme. En effet, bien que les capacités de perception et de discrimination des individus TSA puissent être modifiées à un niveau inférieur, cette perception plus fine peut se révéler être un obstacle à un niveau plus abstrait, linguistique, puisqu'une discrimination accentuée des détails acoustiques non-pertinents peut empêcher la normalisation et la généralisation des traitements nécessaires à une bonne perception de la parole.

1.4.1.2.3 La perception de la prosodie (de haut niveau)

Plusieurs études récentes suggèrent que les adolescents et les adultes TSA discriminaient également mieux les tons complexes non musicaux (Heaton, Hudry, Ludlow, & Hill, 2008; Heaton, Williams, Cummins, & Happé, 2008) ainsi que les stimuli musicaux (Heaton et al., 1998; Järvinen-Pasley, Wallace, Ramus, Happé, & Heaton, 2008; Mottron, Peretz, Belleville, & Rouleau, 1999; Mottron, Peretz, & Ménéard, 2000; Heaton, Pring, & Hermelin, 2001; Pring, Woolf, & Tadić, 2008; Heaton, 2005).

Pour ce qui est de la prosodie expressive, nombreuses sont les études qui ont montré des productions prosodiques anormales dans le TSA : une intonation robotisée ou exagérée,

des accentuations anormales, une qualité vocale non-usuelle, ou encore des accents inappropriés (Asperger, 1944; Attwood, 1999; Kanner, 1943; Shriberg et al., 2001; Shriberg, Kwiatkowski, & Rasmussen, 1990). Dans le domaine de la perception, les études se sont intéressées aux trois grandes modalités prosodiques : la prosodie grammaticale, la prosodie pragmatique, et la prosodie affective (pour une revue de la littérature, voir: McCann & Peppé, 2003).

Les études qui se sont penchées sur la perception de la prosodie affective ont montré que, quel que soit l'âge des participants et leur type d'autisme, ils avaient des difficultés à identifier les émotions (Golan et al., 2006, 2007; Kleinman et al., 2001; Rutherford et al., 2002). Typiquement les procédures expérimentales consistaient à associer une phrase exprimant une émotion particulière, mais ne possédant aucun indice sémantique, à un mot décrivant cette émotion, dans un paradigme à choix forcés ou à choix multiples. Toutefois, il semblerait que le traitement de la prosodie affective soit altéré chez les individus TSA, uniquement dans des conditions de surcharge cognitive, ce qui va à l'encontre de l'hypothèse d'un déficit général de théorie de l'esprit (Chevallier, Noveck, Happé, & Wilson, 2011; Grossman, Bemis, Plesa Skwerer, & Tager-Flusberg, 2010; Järvinen-Pasley, Pasley, & Heaton, 2008; Järvinen-Pasley, Peppé, King-Smith, & Heaton, 2008; Laval, Le Sourn-Bissaoui, Girard, Chevreuil, & Aguer, 2012; Peppé, McCann, Gibbon, O'Hare, & Rutherford, 2007; Brennan & al. 2011 ; Heikkinen et al., 2010; Jones et al., 2011; Kleinman et al., 2001; Lindner & Rosen, 2006; Mazefsky & Oswald, 2007; O'Connor, 2007; Rutherford et al., 2002).

La perception de la prosodie pragmatique a été principalement étudiée via des techniques d'imagerie (IRMf, TEP)⁷, en utilisant des tâches de compréhension. Globalement, les résultats révèlent une plus faible activation dans les régions fronto-temporales gauches chez des adolescents et des adultes TSA, comparativement à des participants contrôles de même âge chronologique, accompagnée d'une sur-activation des régions fronto-temporales droites (Groen et al., 2010 ; Redcay & Courchesne, 2008 ; Anderson et al., 2010).

Peu de recherches se sont intéressées à la perception de la prosodie grammaticale dans l'autisme, et les résultats obtenus sont très variables. Par exemple, Paul, Augustyn, Klin, & Volkmar (2005) ont examiné la façon dont des adolescents TSA anglophones de haut niveau (Autisme de Haut Niveau (AHN), Syndrome d'Asperger (SA), et Trouble Envahissant

⁷ IRMf = Imagerie par Résonance Magnétique Fonctionnelle. TEP = Tomographie par Émission de Positons.

du Développement-Non Spécifié (TED-NS), ayant tous un QI verbal supérieur à 70 et un langage fluent) percevaient la prosodie grammaticale sous trois angles : l'accentuation au niveau du mot, l'intonation au niveau de la phrase, et la position des pauses dans la phrase. Dans la première condition, les participants devaient déterminer si le mot accentué était un verbe (accentuation iambique : sur la deuxième syllabe), ou un nom (accentuation trochaïque : sur la première syllabe)⁸. Dans la condition de perception de l'intonation, les participants devaient indiquer si la phrase était une question ou une affirmation. Enfin, dans la dernière condition, ils devaient définir l'organisation syntaxique de la phrase (par exemple, en entendant une phrase du type « *Jean le dentiste est arrivé* », dans laquelle une pause était marquée soit entre [Jean] et [le dentiste], soit non seulement entre [Jean] et [le dentiste], mais également entre [le dentiste] et [est arrivé], les participants devaient choisir si la phrase s'adressait à Jean [*Jean, le dentiste est arrivé*], ou non [*Jean, le dentiste, est arrivé*]). Les résultats révèlent que, comparativement aux participants NT, les adolescents TSA ont des difficultés à utiliser l'accentuation lexicale au niveau du mot. De plus, il semblerait que cette difficulté concerne également les enfants avec Autisme de Haut Niveau (Peppé et al., 2007). En revanche, de tels résultats ne sont pas retrouvés par Järvinen-Pasley et al. (2008). De plus, alors que Paul et al. (2005), ne trouvaient pas de différences entre les adolescents TSA et leurs contrôles, dans leur tâche de perception de l'intonation au niveau de la phrase, Järvinen-Pasley et al. (2008) ont mis en évidence que les enfants TSA ont plus de difficultés que leurs contrôles NT à identifier des intonations grammaticales à la fin des phrases, en jugeant davantage les phrases interrogatives comme étant affirmatives. Des résultats similaires sont obtenus chez des adolescents et de jeunes adultes avec autisme de haut niveau (Diehl, Bennetto, Watson, Gunlogson, & McDonough, 2008) : ces derniers ont plus de difficultés, que leurs contrôles NT de même âge chronologique, à utiliser la prosodie pour comprendre une phrase syntaxiquement ambiguë. Encore plus surprenant, Grossman, Bemis, Plesa Skwerer, & Tager-Flusberg (2010) ne trouvent aucune différence entre des enfants AHN et des enfants NT de même âge chronologique, dans une tâche visant à

⁸ Comme nous l'avons vu un peu plus haut, en anglais, selon que l'accentuation soit placée sur la première ou la deuxième syllabe, la catégorie lexicale du mot n'est pas la même. Par exemple, le mot « recall » signifie « rappeler » si l'accentuation est portée par la deuxième syllabe (reCALL), et signifie « rappel » si l'accentuation est portée par la première syllabe (REcall).

associer une image à un mot dont l'accentuation (iambique ou trochaïque) modifiait sa signification lexicale (par exemple : « HOT dog » *versus* « hot DOG »).

Toutes les incohérences concernant les résultats des études susmentionnées sont certainement dues à des différences de procédures expérimentales utilisées, mais également à des différences interindividuelles parmi les groupes cliniques choisis (par exemple, contrairement à Paul et al. (2005), Järvinen-Pasley et al. (2008) n'ont pas inclus de participants TED-NS dans leur groupe de participants TSA). Ainsi, un des objectifs de ce travail de thèse est d'explorer la perception de la prosodie en utilisant la même procédure expérimentale, pour l'ensemble du spectre de l'autisme, et à tous les âges de développement (de l'enfance à l'âge adulte).

Une autre population est particulièrement intéressante et complémentaire à l'étude de la perception du langage dans le trouble du spectre autistique : le syndrome de Williams-Beuren. En effet, tout comme certains individus TSA, les personnes SW ont un développement du langage plus tardif que dans le développement typique. Toutefois, contrairement aux individus TSA, les personnes SW ont de bonnes capacités de communication sociale. De ce fait, étudier et comparer ces deux populations permettrait d'une part de tester des prédictions contrastées, et d'autre part de poser des questions de spécificité de déficit.

1.4.2 Le syndrome de Williams-Beuren (SW)

1.4.2.1 Description du syndrome

Au début des années 60, deux médecins, le Dr Williams, cardiologue néozélandais, et le Dr Beuren, cardio-pédiatre allemand, identifient, indépendamment, un syndrome associant une sténose aortique supra-valvulaire, un retard développemental (physique et cognitif), et un faciès très particulier de type « elfe » (Beuren, Aritz, & Harmjanz, 1962; Williams, Barratt-Boyes, & Lowe, 1961) (Figure 1-4).

Figure 1-4 : Photographie de quatre patients ayant le syndrome de Williams, observés par le Dr Williams (photo issue de Williams et al., 1961).



Le syndrome de Williams-Beuren (plus communément appelé « syndrome de Williams ») est une maladie génétique rare, concernant environ une naissance sur 20 000 à une naissance sur 7 500 (Encyclopédie Orphanet, 2012; Morris, Demsey, Leonard, Dilts, & Blackburn, 1988; Strømme, Bjørnstad, & Ramstad, 2002), et touchant indifféremment les garçons et les filles, quelle que soit leur origine géographique. Ce syndrome est lié à une micro-délétion de la région q11.23 du chromosome 7, entraînant une perte mono-allélique de 28 gènes (Ewart et al., 1993; Micale et al., 2008). Du point de vue cognitif, le profil des personnes ayant le syndrome de Williams (SW) est très spécifique : il associe un retard global modéré – avec une dissociation entre des capacités visuo-spatiales très déficitaires et des capacités verbales relativement préservées – (Bellugi et al., 1999; Doyle et al., 2004; W. Jones et al., 2000; Mervis et al., 2000, 2003; Mervis, Klein-Tasman, & Mastin, 2001), à une hyper-sociabilité, surtout chez les enfants et surtout en interaction avec les adultes (Doyle et al., 2004; Frigerio et al., 2006; W. Jones et al., 2000; Porter, Coltheart, & Langdon, 2007).

Dans le domaine non verbal, les déficits consistent principalement en une altération des capacités de représentation spatiale d'un stimulus visuel, reflétant des difficultés à réaliser un traitement global de l'information : les individus SW sont focalisés sur les détails, perçoivent correctement l'orientation spatiales des éléments, mais ont du mal à se représenter leurs relations sans l'espace (Farran et al., 2001 ; Jordan et al., 2002). Ainsi, par exemple, ils ont de grandes difficultés à réaliser l'épreuve des Cubes des échelles de

Wechsler (Farran et al., 2001 ; Rondan et al., 2003). De ce fait, les individus SW sont reconnus pour avoir de très bonnes capacités de reconnaissance des visages ; tâche dans laquelle ils privilégient des stratégies de traitement local plutôt que configural (Karmiloff-smith, 1997, 1998 ; Deruelle et al., 2006; Mancini et al., 2006; Nakamura, Watanabe, Gunji & Kakigi, 2006; Bernardino & Van Asselen, 2009), contrairement à ce qui est attendu dans le développement typique (Deruelle & De Schonen, 1995, 1998).

Au contraire, compte tenu du retard cognitif, le langage est relativement préservé dans le syndrome de Williams : le vocabulaire est souvent riche, et ils sont capables de réutiliser des mots complexes et des phrases sophistiquées qu'ils ont entendus. Toutefois, le développement du langage dans le SW est relativement différent de ce qu'on peut observer dans le développement typique et certains auteurs parlent d'une trajectoire d'acquisition différente ; les enfants SW ayant des capacités de compréhension et de production décalées dans le temps comparativement au développement typique (Mervis & Robinson, 2000; Paterson, Brown, Gsödl, Johnson, & Karmiloff-Smith, 1999; Singer Harris, Bellugi, Bates, Jones, & Rossen, 1997). Ainsi, par exemple, les enfants SW produisent leurs premières phrases aux alentours de trois ans, soit 12 à 18 mois plus tard que dans le développement typique, et ne présentent pas l'avantage de la compréhension sur la production (Paterson, 2000; Singer Harris et al., 1997). Par ailleurs, les jeunes enfants SW semblent avoir les mêmes difficultés langagières que les enfants ayant le syndrome de Down, mais ces derniers gardant des capacités verbales limitées durant toute leur vie, contrairement aux adultes SW (Paterson et al., 1999). Cependant, lorsque les enfants SW produisent leurs premiers énoncés, leur vocabulaire est d'emblée riche et leurs phrases bien formées : l'apparition du langage est simultanée à « l'explosion du lexique ». En revanche, tous les aspects du langage ne sont pas préservés, et les individus SW montrent des capacités verbales très hétérogènes : ils ont de bonnes capacités de communication sociale (Bellugi et al., 1999; Doyle et al., 2004), mais une perception et une production verbales atypiques (Lacroix et al., 2009; Nazzi et al., 2005, 2003). Notamment, leur discours est caractérisé de « *cocktail party speech* » : les individus SW parlent beaucoup et montrent un fort intérêt pour autrui, mais n'ont qu'une compréhension très superficielle des échanges et utilisent des expressions toutes faites et inappropriées (Gosch, Ståding, & Pankau, 1994; Udwin & Yule, 1990; Udwin, Yule, & Martin, 1987).

En somme, il n'y a pas de dissociation nette entre les capacités verbales et non verbales chez les individus SW ; certains aspects visuo-spatiaux sont préservés (comme par exemple la reconnaissance des visages), alors que d'autres sont altérés (comme par exemple la reproduction de figures avec des cubes), et il en est de même pour le langage : les personnes SW ont une bonne mémoire phonologique, mais des difficultés à utiliser la morphologie grammaticale. Dans le domaine particulier de la prosodie, sa production est souvent décrite par l'entourage comme étant particulière (particularité confirmée par des études comme celles de Reilly et collaborateurs (Reilly, Klima, & Bellugi, 1990; Reilly, 1992), mettant en évidence une prosodie chantante et expressive, ayant pour but de renforcer la dimension émotionnelle de la narration).

1.4.2.2 La perception auditive dans le SW

1.4.2.2.1 La perception auditive (de bas niveau)

La plupart des individus SW souffrent d'une hypersensibilité à certains sons, alors que d'autres sont fascinés par ces derniers. Cette hyperacousie touche près de 90% des personnes ayant le syndrome de Williams (Klein, Armstrong, Greer, & Brown, 1990). Toutefois, il semblerait que cette hypersensibilité aux sons soit davantage liée à une diminution des seuils de la douleur (odynacousie) plutôt qu'à une diminution des seuils auditifs (hyperacousie) (Levitin, Cole, Lincoln, & Bellugi, 2005). Par ailleurs, les individus SW n'auraient pas une sensibilité plus fine en termes de seuils absolus ; *a contrario*, ils ont tendance à davantage avoir une légère perte de l'acuité auditive, comparativement à leurs pairs neurotypiques (Cohen et al., 2005; Marler, Eifenbein, Ryals, Urban, & Netzloff, 2005).

Par ailleurs, un grand nombre d'individus SW présente de très bonnes capacités musicales, et beaucoup jouent d'un instrument ou chantent ; ils n'ont pas de meilleures capacités musicales comparativement aux personnes neurotypiques, mais semblent avoir une attirance plus marquée que ces derniers pour les activités musicales (Levitin et al., 2004, 2005), bien que leur cerveau montre des activations atypiques à l'écoute de sons musicaux (Levitin et al., 2003) : alors que les zones normalement actives dans la population typique sont les gyri temporaux supérieur et moyen, les individus SW montrent une activation réduite dans les lobes temporaux, et une plus grande activation dans l'amygdale droite, centre de la gestion des émotions et des réactions de peur, d'anxiété, et d'agressivité.

A ce jour, aucune étude n'a cherché à investiguer les seuils de discrimination auditive dans le syndrome de Williams. Les seules données existantes concernent un prérequis à l'étude de Järvinen et al. (2012) – s'intéressant au traitement de stimuli affectifs sociaux et non-sociaux, visuels et auditifs – visant à vérifier l'absence de trouble auditif chez les participants SW et NT de leur étude. Les résultats ont montré que l'audition de tous les participants inclus dans l'étude était dans la normale de leur âge. Or il semble que les individus SW présentent un avantage pour percevoir des différences acoustiques entre des sons langagiers que les participants typiques n'entendent pas (Majerus et al., 2011). Or, tout comme dans le trouble du spectre autistique, le décalage temporel dans le développement du langage pourrait être lié à une perception plus fine des informations acoustiques du langage à un niveau inférieur.

1.4.2.2.2 La perception de la prosodie (de haut niveau)

Peu d'études se sont intéressées à la perception de la prosodie du langage dans le syndrome de Williams. La majorité des études s'intéressant à la perception de la prosodie s'est focalisée sur le versant affectif de celle-ci, et peu de travaux ont fait état de la prosodie linguistique dans cette population.

La première recherche à s'être penchée sur le traitement précoce de la prosodie dans le syndrome de Williams est celle de Nazzi, Paterson, & Karmiloff-Smith (2003). Dans cette étude, les auteurs se sont intéressés à la capacité qu'ont les bébés et les jeunes enfants SW à segmenter des mots dans un flux de parole continu, de façon à déterminer si d'éventuels problèmes à ce niveau de traitement du langage pouvaient expliquer le décalage initialement présent dans l'acquisition des mots dans le SW. Pour ce faire, 17 participants SW de 15 à 48 mois ont été familiarisés à des phrases contenant des mots-cibles bisyllabiques soit trochaïques (accentués sur la première syllabe), soit iambiques (accentués sur la deuxième syllabe). Les résultats ont montré que, tandis que les bébés anglophones au développement typique peuvent segmenter les mots trochaïques – pattern plus fréquemment rencontré en anglais – à 7 mois et demi, et les mots iambiques à 10 mois et demi (Juszyk et al., 1999), les bébés et jeunes enfants SW ne parviennent à segmenter que les mots trochaïques, mais pas les mots iambiques, alors même qu'ils sont âgés de bien plus de 10 mois et demi. De ce fait, bien qu'ils aient un vocabulaire relativement étendu, il semblerait que les jeunes enfants SW puissent utiliser les indices prosodiques à la frontière

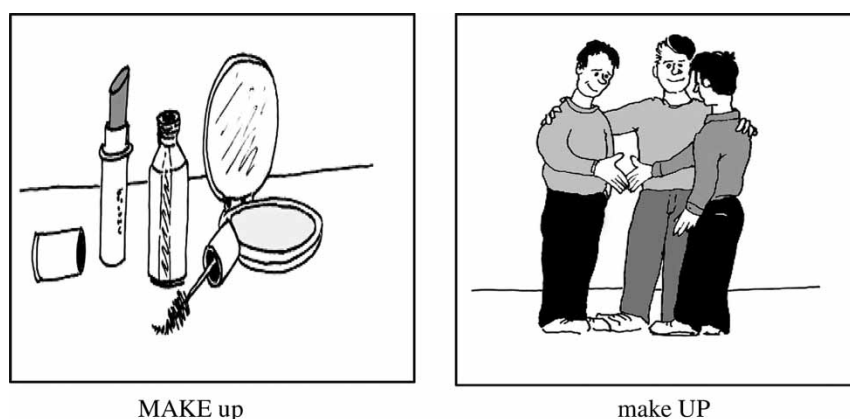
des mots, mais aient des difficultés à exploiter les indices statistiques pour retrouver les mots iambiques.

En ce qui concerne les aspects prosodiques du langage, les performances des individus SW correspondent à leur niveau verbal plutôt qu'à leur âge chronologique. Pour autant, les enfants SW plus âgés et les adultes SW parviennent aussi bien que des participants NT de même âge chronologique à répéter des pseudo-mots de type VCV (voyelle-consonne-voyelle), présentés auditivement, alors qu'ils sont accentués de façon iambique (Böhning, Campbell, & Karmiloff-Smith, 2002). Ainsi, dès l'âge de 10 ans, les enfants SW semblent avoir rattrapé leur retard. Ces résultats sont confirmés par ceux de l'étude de Stojanovik, Setter, & Ewijk (2007). Ces chercheurs ont montré que des enfants SW âgés de 6 à 13 ans percevaient les variations prosodiques (intonation) de la même manière que des enfants NT de même niveau verbal, uniquement lorsque les énoncés entendus étaient courts, mais pas lorsque ces derniers étaient longs (dans cette condition, les participants SW ont des performances inférieures aux participants NT). En revanche, lorsque ces mêmes participants sont comparés à des participants NT de même âge chronologique, leurs performances sont bien inférieures, et ce pour tous les aspects prosodiques testés (l'affect, la grammaire, l'interaction, l'accentuation (*focus*) et la pragmatique). Par ailleurs, cette équipe a mis en évidence que, alors que dans le développement typique il existe une corrélation forte entre les performances prosodiques et les capacités verbales, ce n'est pas le cas dans le SW. Ceci corrobore l'hypothèse de Karmiloff-Smith (1998) suggérant une trajectoire développementale atypique du langage : les capacités linguistiques et les capacités prosodiques évoluent différemment et indépendamment.

En utilisant des mots sémantiquement connus, Plesa Skwerer, Schofield, Verbalis, Faja, & Tager-Flusberg (2007) ont montré des résultats similaires. Cette équipe s'est intéressée au rôle linguistique de la prosodie chez 37 participants SW adolescents et adultes anglophones (âgés de 12 à 35 ans). La tâche était d'interpréter des mots ambiguës, sur la base d'indices prosodiques : les participants entendaient une paire de mots, tout en faisant face à deux images, et devaient choisir quelle image correspondait au mot entendu. Par exemple, ils pouvaient entendre le mot « make up », accentué soit sur la première syllabe, soit sur la deuxième, et devaient choisir laquelle des deux images proposées (« maquillage » ou « faire la paix ») correspondait à l'accentuation entendue (Figure 1-5). Les résultats ont révélé que, comparativement à un groupe de participants NT, les participants SW avaient

des difficultés pour interpréter un contenu sémantiquement ambigu sur la base d'indices prosodiques. Par ailleurs, les auteurs ont mis en évidence un biais trochaïque : les participants SW ont tendance à choisir l'interprétation correspondant au pattern accentué sur la première syllabe, quel que soit le pattern d'accentuation entendu, ignorant ainsi la signification lexicale portée par l'indice prosodique. Ces résultats rejoignent ceux de Nazzi, Paterson, & Karmiloff-Smith (2003) : ils sembleraient que, quel que soit leur âge, les individus SW anglophones aient une préférence pour le pattern d'accentuation le plus courant dans la langue anglaise (trochaïque), bien qu'ils soient capables d'utiliser l'accentuation iambique lorsque les variations prosodiques ne sont pas mélangées (Böhning et al., 2002).

Figure 1-5 : Exemple d'images utilisées dans l'étude de Plesa Skwerer et al. (2007). *A gauche*, le mot « make up » accentué sur la première syllabe, signifiant « maquillage ». *A droite*, le mot « make up » accentué sur la deuxième syllabe, signifiant « faire la paix ». Illustration issue de Plesa Skwerer et al. (2007).



C'est également ce qu'a montré Stojanovik (2010), chez des enfants SW anglophones âgés de 6 à 13 ans, dans une étude s'intéressant à la trajectoire développementale de trois aspects prosodiques : le focus (savoir utiliser la prosodie pour mettre en avant des mots ou des syllabes spécifiques dans une phrase), la segmentation (savoir utiliser la prosodie pour désambiguïser des mots complexes), et l'interaction (savoir utiliser la prosodie pour réguler une conversation). Dans la condition de perception du focus, les participants entendaient une phrase dans laquelle une des deux couleurs énoncées était accentuée (par exemple : « Je voudrais des chaussettes BLEUES et blanches », où le mot « bleu » est accentué). La

tâche était d'identifier cette couleur, en choisissant l'image correspondant sur l'écran parmi deux (par exemple : une chaussette bleue et une chaussette blanche). Dans la condition de perception de la segmentation, les participants entendaient soit un mot composé et un mot simple, soit trois mots simples. La tâche était de choisir quelle image correspondait aux mots entendus (une image contenant deux objets, ou une image contenant trois objets). Dans la condition de perception de l'interaction, les participants entendaient des mots isolés, dont l'intonation était soit déclarative, soit interrogative. La tâche était d'identifier si le mot était « lu dans un livre » (déclarative, intonation descendante), ou « proposé » au participant (interrogative, intonation montante). Les résultats ont mis en évidence un décalage dans le développement des capacités à utiliser la prosodie dans toutes les tâches de perception, chez les enfants SW : ces derniers parviennent plus tardivement que les enfants NT de même âge chronologique à utiliser les indices prosodiques pour mettre en avant des mots ou des syllabes spécifiques dans une phrase, segmenter des mots complexes, et identifier les types de phrase. Néanmoins, lorsque Stojanovik prend en compte l'âge mental, ce décalage disparaît : compte-tenu de leur âge mental, les enfants SW ne sont pas en retard en ce qui concerne la perception des indices prosodiques testés.

Toutes ces études montrent que les capacités verbales dans le syndrome de Williams ne sont pas un tout homogène, mais plutôt un domaine constitué de forces et de faiblesses. Par ailleurs, les études qui ont porté sur la perception de la prosodie chez les individus SW, ont révélé des capacités prosodiques correspondant globalement à leur âge mental (Nazzi et al., 2003; Stojanovik et al., 2007). Toutefois, ces études sont rares et méritent d'être confirmées.

Le but de ce travail de thèse sera donc, pour partie, de tester la sensibilité à l'ITL, en explorant les trois indices (durée, intensité, et pitch) de la même manière, à deux niveaux de traitement (un traitement de bas niveau avec des tons purs, et un traitement de plus haut niveau avec des pseudo-mots), sur une large tranche d'âge (chez les enfants aussi bien que chez les adultes), dans une population typique et dans deux populations atypiques. Notre objectif est double : mettre en évidence les éventuelles disparités entre les individus typiques et atypiques, et montrer les liens éventuels entre ces différents niveaux de traitement.

En effet, aucune étude ne s'est intéressée à la perception de l'ITL dans le trouble du spectre autistique ou dans le syndrome de Williams. Or, l'étude de populations atypiques, pour lesquelles la perception auditive semble être perturbée, pourrait donner davantage d'informations quant aux rôles de l'ITL et de la perception auditive dans l'acquisition du langage.

1.5 Objectifs de la thèse

Le but de ce projet est d'explorer l'amorçage prosodique du langage dans le développement typique, ainsi que dans deux populations au développement langagier atypique : les individus présentant un trouble du spectre autistique et les personnes ayant le syndrome de Williams, à tous les âges de développement. Dans cette thèse, nous nous intéressons aux capacités perceptives langagières de ces trois populations, et au rôle que joue la perception de la prosodie – la musicalité de la parole – dans le développement de leur langage.

Il est évident que les difficultés sociales et relationnelles contribuent aux problèmes de langage rencontrés chez les individus TSA, car les compétences sociales et affectives, ainsi que la maîtrise de la théorie de l'esprit, sont indispensables pour apprendre et traiter les aspects sémantiques et pragmatiques des langues. Récemment, il a été émis l'hypothèse que les personnes TSA, pourraient aussi avoir une perception atypique du pitch, qui pourrait également se généraliser à d'autres traits acoustiques comme la durée, l'intensité etc. (Bonnell et al., 2010; McCann & Peppé, 2003). Il n'est donc pas clair dans quelle mesure les troubles de la perception du pitch pourraient contribuer à un retard de langage, et sur quelles populations ces troubles auraient un impact (Heaton, Hudry, Ludlow, & Hill, 2008b). Cette question n'a pas encore été pleinement explorée, en particulier chez les personnes avec autisme présentant un bas niveau de fonctionnement.

Ce projet vise donc à explorer plus précisément ce sujet, en se concentrant sur les enfants, les adolescents, et les adultes de trois populations (NT, TSA et SW). Ainsi, dans le cas du trouble du spectre autistique, il y a deux hypothèses envisageables. Tout d'abord, en accord avec une théorie qui identifie le déficit de base dans l'autisme comme étant un trouble de la théorie de l'esprit (Chevallier et al., 2009; Baron-Cohen, Leslie, & Frith, 1985), il se pourrait que la perception auditive atypique ne soit pas corrélée avec le trouble

linguistique présent chez les sujets TSA. Cependant, si l'on en croit l'hypothèse de la complexité neuronale (Bertone et al., 2005; Samson et al., 2006), il est également possible que les difficultés linguistiques de ces individus soient liées, au moins en partie, à leur perception atypique de la prosodie (durée, intensité, et pitch du signal de parole). La perception altérée de ces indices pourrait empêcher les bébés avec autisme de les utiliser comme amorces pour l'acquisition des aspects plus formels du langage, comme le lexique ou la grammaire, ce qui entraînerait un retard de langage. En outre, si la production linguistique est préservée dans le syndrome de Williams (contrairement à certains individus TSA), et si leur audition est également atypique (comme certains individus TSA), étudier la perception de la prosodie chez les individus SW nous permettra de mieux comprendre quels aspects de la perception auditive contribuent à l'acquisition du langage.

Ce projet repose sur le constat que, dans la littérature, il y existe une grande variabilité dans les capacités linguistiques des personnes présentant un trouble du spectre autistique. Notre idée est que ces variabilités linguistiques seraient liées aux variabilités perceptives des personnes TSA : une variabilité dans les capacités perceptives de bas niveau (probablement plus importante que chez les personnes neurotypiques) viendrait perturber les représentations qui devraient servir d'input pour l'acquisition du langage ; celles-ci ne seraient pas aussi stables, développées, ou détaillées qu'elles ne devraient l'être. Par conséquent, sans l'input approprié, l'acquisition du langage – le mécanisme de bootstrapping prosodique – serait perturbée. Ainsi, le but de ce projet n'est pas d'uniformiser la population TSA, mais de rencontrer le plus de participants possibles sur le spectre, afin d'avoir une vision large des variabilités interindividuelles selon que les personnes TSA aient acquis le langage ou non, et selon qu'elles l'aient acquis à un âge typique ou non. L'analyse principale consistera donc à déterminer quels sont les facteurs qui prédisent le mieux la variabilité dans les capacités linguistiques observées, en incluant le plus de données possibles.

Par ailleurs, les individus présentant le syndrome de Williams-Beuren fournissent une ligne de comparaison particulièrement pertinente. En effet, leurs capacités de production verbale semblent être relativement bien préservées, alors que leur perception est plutôt atypique : il existe des preuves d'une excellente discrimination de l'information acoustique (Elsabbagh, Cohen, Cohen, Rosen, & Karmiloff-Smith, 2011), d'une mauvaise sensibilité

phonologique (Majerus, Barisnikov, Vuillemin, Poncelet, & van der Linden, 2003). De ce fait, comparer deux populations ayant toutes deux des particularités perceptives de bas niveau, mais dont les conséquences sont relativement opposées (hyper-sociabilité et langage oral très riche dans le syndrome de Williams, trouble des interactions sociales et langage oral intelligible parfois absent dans le trouble du spectre autistique), et explorer la variabilité dans l'atypie des trajectoire développementale, nous permettra de mieux comprendre quels aspects de la perception auditive sont les plus pertinentes et contribuent le plus à l'acquisition du langage.

Notre projet vise donc à tracer l'intégralité du territoire entre la perception acoustique de bas niveau et les fonctions linguistiques de la prosodie, en commençant par le premier et en augmentant progressivement le niveau d'abstraction. Pour ce faire, nous avons créé quatre expériences. La première vise à déterminer les seuils de discrimination auditive de nos participants. Pour ce faire, nous présenterons des tons purs par groupes de trois, variant soit en durée soit en pitch, et demanderons aux participants d'identifier le son déviant parmi les trois sons présentés. La deuxième consiste à tester l'ITL avec de simples tons purs. Nous présenterons des séquences de tons purs alternant soit en durée, soit en intensité, soit en pitch, et demanderons aux participants de grouper les sons par paire, soit de façon iambique, soit de façon trochaïque, selon la manière dont ils les ont perçus. La troisième cherche à tester l'ITL avec un matériel davantage linguistique (des pseudo-mots). La procédure sera identique à la précédente, mais les tons purs seront remplacés par des syllabes. Les participants devront alors grouper les syllabes en mots bisyllabiques, accentués soit de façon iambique, soit de façon trochaïque, selon la manière dont ils les ont perçus. Enfin, la dernière expérience consiste à vérifier l'existence du mécanisme de bootstrapping prosodique, à un âge qui n'a encore jamais été testé à ce jour. Après avoir familiarisé les participants à une langue artificielle, nous verrons s'ils sont capables de déduire l'ordre des mots de cette langue, en choisissant parmi des syntagmes VO et OV ceux qu'ils pensent reconnaître. De plus, nous étudierons également si la perception acoustique de bas niveau (seuils de discrimination auditive) peut impacter les groupements prosodiques (ITL et bootstrapping), explorant ainsi le lien entre les performances sur les différentes tâches.

Dans le Chapitre 2, nous présenterons l'ensemble des populations rencontrées pour cette thèse. Chacun des Chapitres 3 à 6 sera consacré à une expérience. Dans le Chapitre 7,

nous nous intéresserons à l'impact des capacités cognitives, musicales, auditives, et langagières sur les différentes tâches. Puis, dans le Chapitre 8, nous discuterons des résultats obtenus dans toutes ces expériences.

2. CHAPITRE 2 : POPULATIONS

Dans les études de ce travail de thèse, nous avons testé trois populations : des participants neurotypiques (sans trouble neurologique ni psychiatrique), des participants présentant un trouble du spectre autistique, ainsi que des participants ayant le syndrome de Williams-Beuren, en couvrant une large portion du développement (de 3 à 60 ans). Notre but est, d'une part, de mieux comprendre les capacités auditives et langagières de chacune de ces trois populations, et d'autre part, de les comparer entre elles.

Chaque participant s'est vu proposer quatre tâches expérimentales, une tâche d'évaluation du fonctionnement cognitif, et des questionnaires. Tous n'ont pas réalisé la totalité du protocole, par manque de temps, de volonté ou par difficultés de concentration et/ou de compréhension.

2.1 Participants

2.1.1 Participants neurotypiques (NT)

287 (123 filles/femmes) enfants, adolescents et adultes, neurotypiques (NT), sans trouble neurologique ni psychiatrique, francophones, âgés de 3 ans et 0 mois à 60 ans 2 mois (âge moyen = 12 ans 0 mois), ont participé au protocole. Les enfants ont été recrutés dans deux écoles maternelles de Charente-Maritime (Ecole maternelle de l'Houmeau, sous la direction de Madame Chantal Chemin, et Ecole maternelle Gaston Balande de La Rochelle, sous la direction de Madame Dominique Bossennec) ainsi que dans une école élémentaire Parisienne (Ecole élémentaire Saint-Germain de Charonne, sous la direction de Madame Anne Gallet). Les adolescents et les adultes ont été recrutés par le biais du RISC (Relais d'Information sur les Sciences de la Cognition), grâce à des affiches diffusées à l'Université Paris Descartes, ainsi que par le fichier de familles recontactables du Laboratoire de Psychologie de la Perception (LPP). Les participants NT ne présentaient pas de trouble auditif, neurologique ou psychiatrique (informations recueillies auprès des parents ou des enseignants pour les enfants, et auprès des adultes eux-mêmes).

Nous avons choisi de répartir les participants selon 12 groupes d'âges : trois groupes d'enfants d'âges préscolaires (3, 4 et 5 ans, correspondant à l'école maternelle), cinq groupes d'enfants d'âges scolaires (6, 7, 8, 9 et 10 ans, correspondant à l'école élémentaire), un groupe de pré-adolescents (de 11 à 14 ans, correspondant au collège), un groupe

d'adolescents (de 15 à 17 ans, correspondant au lycée), un groupe de jeunes adultes (de 18 à 30 ans), et un groupe d'adultes (de 31 à 60 ans) (Tableau 2-1).

Cette répartition se justifie par notre intérêt pour le développement de la perception auditive et du langage : il y a des changements développementaux importants dans les deux domaines entre la naissance et l'adolescence, et les capacités de discrimination auditive s'améliorent pendant l'enfance (Banai & Yuval-Weiss, 2013; D. R. Moore et al., 2011). Effectivement, en comparant cinq groupes d'enfants et un groupe d'adultes dans une tâche de psychoacoustique, Banai et Yuval-Weiss (2013) ont montré que, pour la tâche de discrimination du pitch par exemple, les enfants de 6 à 11 ans avaient des scores significativement moins bons que les adultes, et que les enfants atteignaient des performances similaires à ceux des adultes vers l'âge de 12-13 ans. De plus, à l'âge de 5 ans, les enfants possèdent la majorité des structures morphosyntaxiques de leur langue maternelle (Brown, 1973; D. I. Slobin, 1985), et l'adolescence marque la fin de la période sensible pour l'acquisition de la morphosyntaxe (Johnson & Newport, 1989, 1991; Newport, 2002; Snedeker & Huang, in press). Par conséquent, nous avons testé et analysé les plus jeunes âges par tranches d'un an pour ne pas manquer les changements développementaux éventuels. Etant donné que le diagnostic de l'autisme est posé de façon définitive à l'âge de 3 ans, et que notre méthodologie (tâches sur ordinateur, demandant une compréhension de consignes complexes) n'est pas adaptée aux nourrissons, nous avons commencé les inclusions à partir de 3 ans.

De plus, étant donnée que l'on peut observer une perte d'audition pour les hautes fréquences après 30 ans (Robinson & Sutton, 1979), nous avons choisi de diviser notre groupe d'adultes en deux sous-groupes : jeunes adultes et adultes.

Par ailleurs, étant donné que nous avons recruté les participants neurotypiques de manière prospective, avant les participants atypiques (la population NT devant servir de population contrôle pour les participants TSA et SW), le nombre de garçons et de filles n'est pas équivalent. En effet, le trouble du spectre de l'autisme touchant trois à quatre garçons pour une fille, nous avons recruté davantage de participants NT garçons que de participants NT filles.

Tableau 2-1 : Répartition détaillée des participants neurotypiques.

			Nombre de participants			
			Garçons/ Hommes	Filles/ Femmes	Total	
Neurotypiques	Enfants d'âges préscolaires (3 – 5 ans)	3 ans	13	9	22	74
		4 ans	13	16	29	
		5 ans	10	13	23	
	Enfants d'âges scolaires (6 – 10 ans)	6 ans	15	8	23	124
		7 ans	12	12	24	
		8 ans	11	11	22	
		9 ans	13	11	24	
		10 ans	17	14	31	
	Pré-adolescents (11 – 14 ans)		19	3	22	
	Adolescents (15-17 ans)		9	2	11	
	Jeunes adultes (18 – 30 ans)		28	11	39	
	Adultes (31 – 60 ans)		4	13	17	
			164	123	287	

2.1.2 Participants présentant un Trouble du Spectre Autistique (TSA)

173 (35 filles/femmes) enfants, adolescents et adultes, francophones, présentant un trouble du spectre autistique (TSA), âgés de 3 ans 5 mois à 60 ans 5 mois (âge moyen : 15 ans 7 mois), ont participé à l'étude. Ils ont été recrutés via des structures hospitalières (service de pédopsychiatrie de l'hôpital Robert Debré, hôpital de jour de la Fondation Vallée), des SESSAD (Service d'Education Spéciale et de Soins A Domicile), IME (Institut Médico-Educatif), EMP (Externat Médico-Pédagogique), EMPRO (Externat Médico-Professionnel), FAM (Foyer d'Accueil Médicalisé), mais également des CRA (Centres Ressources Autisme), des professionnels exerçant en libéral (psychomotricien, institutrice

spécialisée à domicile), ainsi que de nombreuses associations (par le biais de Facebook), et ce dans toute la France, offrant des origines géographiques et socioéconomiques particulièrement variées.

2.1.2.1 Critères diagnostiques d'inclusion

Les diagnostics d'autisme ont été réalisés par des professionnels expérimentés indépendamment de – et préalablement à – notre étude à partir des critères du DSM-IV-TR (APA, 2004), de la CIM-10 (OMS, 2006), ou de la CFTMEA-R (2012).

- Selon le DSM-IV-TR, il pouvait s'agir de troubles envahissants du développement (TED) de plusieurs catégories : trouble autistique, syndrome de Rett, trouble désintégratif de l'enfance, syndrome d'Asperger, ou encore TED non spécifié (TED NS) (y compris autisme atypique).
- Selon la CIM-10, il pouvait s'agir de TED de plusieurs catégories : autisme infantile, autisme atypique, syndrome de Rett, autre trouble désintégratif de l'enfance, syndrome d'Asperger, autres troubles envahissants du développement, ou encore trouble envahissant du développement sans précision.
- Selon la CFTMEA-R, il pouvait s'agir de TED ou d'autisme de plusieurs catégories : autisme infantile précoce de type Kanner, autres formes de l'autisme, autisme ou TED avec retard mental précoce, syndrome d'Asperger, dysharmonies multiples et complexes du développement (dysharmonies psychotiques), ou trouble désintégratif de l'enfance, autres TED, ou encore TED NS.

Les diagnostics ont été posés à l'aide d'outils spécialement conçus pour le diagnostic de l'autisme comme l'ADOS (*Autism Diagnostic Observation Schedule* ou échelle d'observation pour le diagnostic de l'autisme), l'ADI (*Autism Diagnostic Interview* ou entretien semi-structuré pour le diagnostic de l'autisme), la CARS (*Childhood Autism Rating Scale* ou échelle d'évaluation de l'autisme infantile), le CHAT (*Checklist for Autism in Toddlers* ou questionnaire de dépistage de l'autisme), ou encore le PEP (*Psycho-Educational Profile* ou profil psycho-éducatif) ; ainsi que par le biais de tests d'efficiences cognitive comme les échelles de Wechsler ou le K-ABC. Certaines structures ou certains professionnels ont utilisé des outils complémentaires comme l'échelle de Vineland (*Vineland Adaptive Behavior*

Scale), et d'autres se sont contentés de diagnostics cliniques via des entretiens avec les familles et les enfants.

2.1.2.2 Choix des participants

Deux des 173 participants présentaient des troubles autistiques syndromiques : ils avaient reçu les diagnostics de syndrome de Turner (1) et syndrome de l'X-fragile (1). Or, ces diagnostics ne sont pas inclus dans les différentes catégories de TED d'après la Fédération Française de Psychiatrie (Fédération Française de Psychiatrie, Baghdadli, & Haute Autorité de Santé, 2005), de ce fait, ces deux participants n'ont pas été inclus dans l'analyse des données.

Au vu de l'hétérogénéité des diagnostics réalisés par les différents professionnels de santé, nous avons choisi de regrouper nos participants TSA en trois groupes pour notre étude (Tableau 2-2 et Annexe 1 pour le détail des âges), prenant en compte l'historique de leur développement langagier :

- 1) *Les participants ayant un syndrome d'Asperger (A)* (et diagnostiqués comme tels) : ces participants ont eu, *a priori*, un développement du langage tout à fait typique.
- 2) *Les participants avec autisme verbaux (AV)* : ces participants ont, *a priori*, développé un langage oral tardivement.
- 3) *Les participants avec autisme non verbaux (ANV)* : ces participants n'ont pas développé de langage oral intelligible.

Tableau 2-2 : Répartition des participants TSA, selon les trois groupes définis (syndrome d'Asperger [A], autisme verbal [AV] et autisme non verbal [ANV]).

	Nombre de participants		
	Garçons/ Hommes	Filles/ Femmes	Total
Syndrome d'Asperger	45	14	59
Autisme verbal	61	16	77
Autisme non verbal	31	4	35
	137	34	171

2.1.3 Participants ayant le syndrome de Williams-Beuren (SW)

17 (3 filles/femmes) enfants, adolescents et adultes, francophones, ayant le syndrome de Williams-Beuren (SW), âgés de 4 ans 2 mois à 24 ans 11 mois (âge moyen : 11 ans 8 mois), ont participé à l'étude (Tableau 2-3 et Annexe 2 pour le détail des âges). Ils ont été recrutés par le biais de l'Association Autour des Williams (association francophone du syndrome de Williams & Beuren), là aussi, sur tout le territoire national.

Les différentes expériences du protocole se sont avérées trop compliquées pour la plus jeune des participantes (âgée de 4 ans et 2 mois) ; ses données n'ont donc pas été intégrées aux analyses relatives aux Expériences 1 à 4.

Tableau 2-3 : Répartition des participants SW.

	Nombre de participants		
	Garçons/ Hommes	Filles/ Femmes	Total
Syndrome de Williams	14	3	17

2.1.4 Appariement des populations

Chaque participant atypique inclus dans les analyses a été apparié en genre et en âge chronologique à un participant neurotypique (à plus ou moins six mois près pour tous les participants de moins de 18 ans, et à plus ou moins un an près pour tous les participants de 18 ans et plus). Idéalement, il aurait été intéressant d'avoir également deux autres groupes d'appariement : un groupe ayant le même âge développemental verbal, et un groupe ayant le même âge développemental non verbal. Cependant, bien que nous ayons pris soin de réaliser des mesures cognitives (voir partie Evaluation des capacités cognitives), l'évaluation n'a pas été possible pour un certain nombre de participants, notamment TSA, du fait de la durée totale du protocole (environ deux heures) et de la fatigabilité de certains participants, ainsi que de la difficulté des tâches cognitives. De ce fait, nous avons choisi de privilégier les tâches expérimentales, plutôt que l'évaluation cognitive. De plus, certains participants TSA étant non verbaux, il était impossible d'obtenir des données sur toutes les tâches cognitives pour chaque individu, ou bien, les mesures auraient révélé un score trop bas dans le cas de

l'évaluation de l'efficacité verbale, ne permettant pas l'appariement avec des enfants typiques.

Ainsi, 59 (14 filles) participants TSA du groupe syndrome d'Asperger, âgés de 4 ans 2 mois à 54 ans 3 mois (âge moyen : 20 ans 0 mois) ont été appariés à 59 (14 filles) participants NT, âgés de 4 ans 0 mois à 55 ans 1 mois (âge moyen : 20 ans 0 mois) ; 75 (15 filles) participants TSA du groupe autisme verbal, âgés de 3 ans 5 mois à 42 ans 2 mois (âge moyen : 11 ans 2 mois) ont été appariés à 75 (15 filles) participants NT âgés de 3 ans 4 mois à 42 ans 7 mois (âge moyen : 11 ans 1 mois) ; 15 (1 fille) participants TSA du groupe autisme non verbal, âgés de 5 ans 1 mois à 60 ans 5 mois (âge moyen : 17 ans 10 mois) ont été appariés à 15 (1 fille) participants NT, âgés de 5 ans 0 mois à 60 ans 2 mois (âge moyen : 17 ans 10 mois) ; et enfin 16 (2 filles) participants SW, âgés de 5 ans 0 mois à 25 ans 0 mois (âge moyen : 11 ans 11 mois) ont été appariés à 16 (2 filles) participants NT, âgés de 5 ans 0 mois à 24 ans 11 mois (âge moyen : 12 ans 2 mois).

2.2 Evaluation des capacités cognitives

Afin d'évaluer l'âge développemental des participants, nous avons utilisé les versions abrégées des échelles de Wechsler (WPPSI-III pour les enfants de 3 à 6 ans, WISC-IV pour les enfants et adolescents de 6 à 16 ans et WAIS-IV pour les adolescents et adultes à partir de 16 ans) (Wechsler, 2004, 2006, 2011). Ces échelles sont les outils d'évaluation du fonctionnement cognitif les plus utilisées en psychométrie dans le monde ; composées d'une dizaine de subtests, elles permettent une évaluation de quatre grands domaines cognitifs : les capacités de compréhension verbale, les capacités de raisonnement perceptif, la mémoire de travail, et la vitesse de traitement. Nous avons sélectionné quatre subtests, deux évaluant le développement verbal (Similitudes et Vocabulaire) et deux évaluant le développement non-verbal (Cubes et Matrices). Ces quatre subtests permettent en effet d'estimer l'âge développemental qui serait obtenu avec les formes complètes, avec la plus faible marge d'erreur possible (Grégoire & Wierzbicki, 2009 ; Zhou & Raiford, 2011). Ils fournissent donc un Quotient Intellectuel Total (QIT), un Quotient Intellectuel Verbal (QIV), et un Quotient Intellectuel Performance (QIP) (non verbal). La durée de passation de ces échelles est d'environ 35 minutes par participant.

Cependant, il n'a pas été possible de réaliser ces évaluations chez l'ensemble des participants. En effet, ces mesures n'ont pas été effectuées chez les participants neurotypiques recrutés dans les écoles (maternelles et élémentaires), pour lesquels nous présumons un fonctionnement cognitif typique et donc des valeurs de performance verbale et non-verbale dans les normes. Par ailleurs, certains participants TSA n'étaient pas en mesure ou ont refusé de réaliser ces tests. Enfin, concernant les participants SW, seule la plus jeune des 17 participants n'a pu réaliser l'évaluation cognitive. Au final, tout ou partie de l'évaluation cognitive a été réalisée chez 98 participants neurotypiques (96 pour la partie « verbal » et 98 pour la partie « non verbal »), 119 participants TSA (112 pour la partie « verbal » et 119 pour la partie « non verbal »)⁹, et 16 participants SW (pour les parties « verbal » et « non verbal »).

Selon les échelles de Wechsler, il existe sept types de QI : « très faible », « limite », « moyen faible », « moyen », « moyen fort », « supérieur », et « très supérieur ». Etant donnée la distribution normale de ces valeurs dans la population, en théorie, 82.20% de la population générale a un profil typique, c'est-à-dire « moyen faible », « moyen », ou « moyen fort », soit un QI compris entre 80 et 120. Les 17.80% restants ont des profils atypiques : une moitié a un QI plus faible que la population générale, c'est-à-dire inférieur à 80, l'autre moitié un QI plus fort que la population générale, c'est-à-dire supérieur à 120.

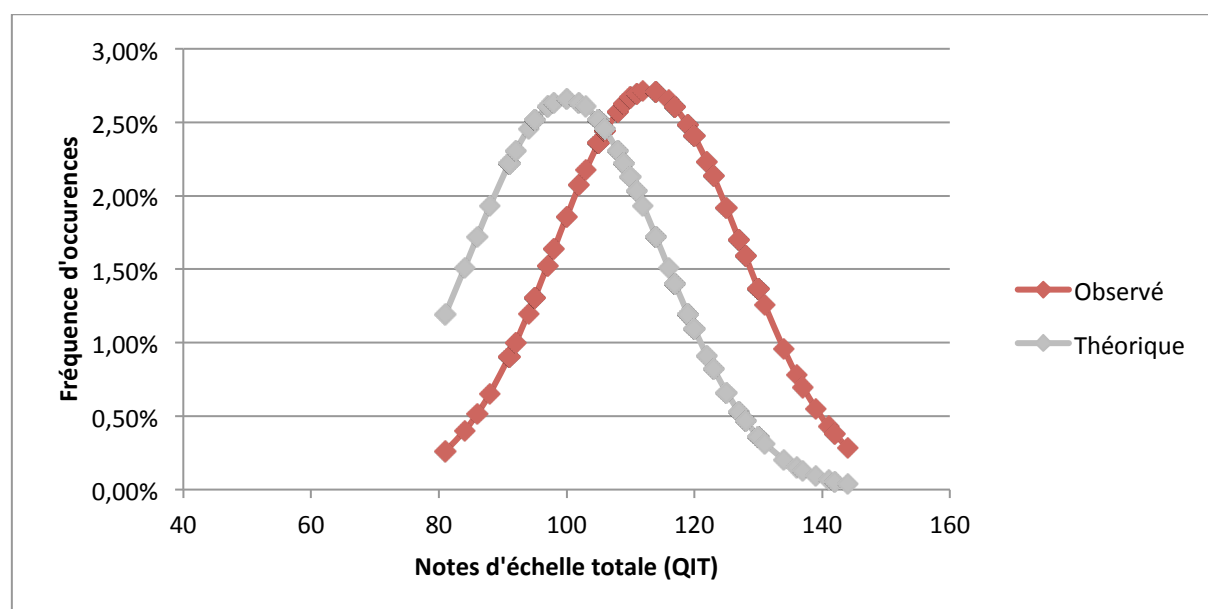
2.2.1 Participants NT

L'analyse des profils cognitifs des participants NT ayant réalisé l'évaluation cognitive révèle une grande majorité de profils « moyens faibles », « moyens », et « moyens forts » : près de 70% des participants NT ayant passé l'évaluation cognitive ont des profils typiques (Tableau 2-4). Aussi, un QI très faible (inférieur à 70) a été observé chez un participant. Ce participant n'était pas de langue maternelle française (ce qui a pu contribuer à ses faibles résultats de QI). Pour ces deux raisons, ses résultats n'ont pas été intégrés aux analyses. Par ailleurs, il semblerait que notre échantillon de participants ait, en moyenne, un QI significativement meilleur que celui de la population générale (moyenne de la population

⁹ Trois autres participants TSA n'ont passé qu'un seul des quatre subtests. Toutefois, l'échelle s'étant avérée trop complexe pour eux, l'évaluation cognitive n'a pu être réalisée complètement pour aucune des deux sous-parties. Ils ne sont donc pas comptabilisés parmi les 119.

générale : $m = 100$, $s = 15$ (Wechsler, 2004, 2006, 2011) ; moyenne de l'échantillon : $m = 113$, $s = 15$; $t(96) = 3.11$, $p = .002$; en effet, la représentation graphique de la distribution des QI est décalée vers la droite (vers les scores hauts), comparativement à la distribution normale attendue¹⁰ (Figure 2-1), suggérant plus de profils « supérieurs » et « très supérieurs » que dans la population générale.

Figure 2-1 : Distribution observée des QIT des participants NT ayant passé l'évaluation cognitive (en rouge), comparativement à la distribution théorique attendue dans la population générale (en gris).



Etant donné que l'évaluation cognitive n'a pas été réalisée chez les participants NT recrutés dans les écoles, il est fort probable que nous soyons passés à côté de profils de plus petits niveaux (profils « limites » par exemple), mais que ces profils aient été intégrés à l'étude. De ce fait, nous n'avons exclus de participants NT ayant un haut niveau cognitif, et la variable QIT a été prise en compte dans les analyses ultérieures (voir Chapitre 7).

Tableau 2-4 : Pourcentage des sept types de profil (« très faible », « limite », « moyen faible », « moyen », « moyen fort », « supérieur », et « très supérieur ») observés chez l'ensemble des

¹⁰ Dans les Figures 2-1, 2-2 et 2-3, chaque courbe grise correspond à la distribution des QI observés si la moyenne était de 100 et l'écart-type de 15 (donc des QI théoriques). Pour l'obtenir, nous avons transformé les QIT mesurés en z-scores (moyenne = 0, écart-type = 1), et avons ensuite transformé ces z-scores en QI théoriques (moyenne = 100, écart-type = 15) (*scaling procedure* ou procédure de redimensionnement). Chaque distribution théorique est donc différente pour chaque groupe de participants, puisque chaque score théorique est calculé en fonction du score observé pour chaque individu.

participants NT ayant passé l'évaluation cognitive comparativement à la distribution attendue dans la population générale, et notes d'échelle totale faisant office de bornes.

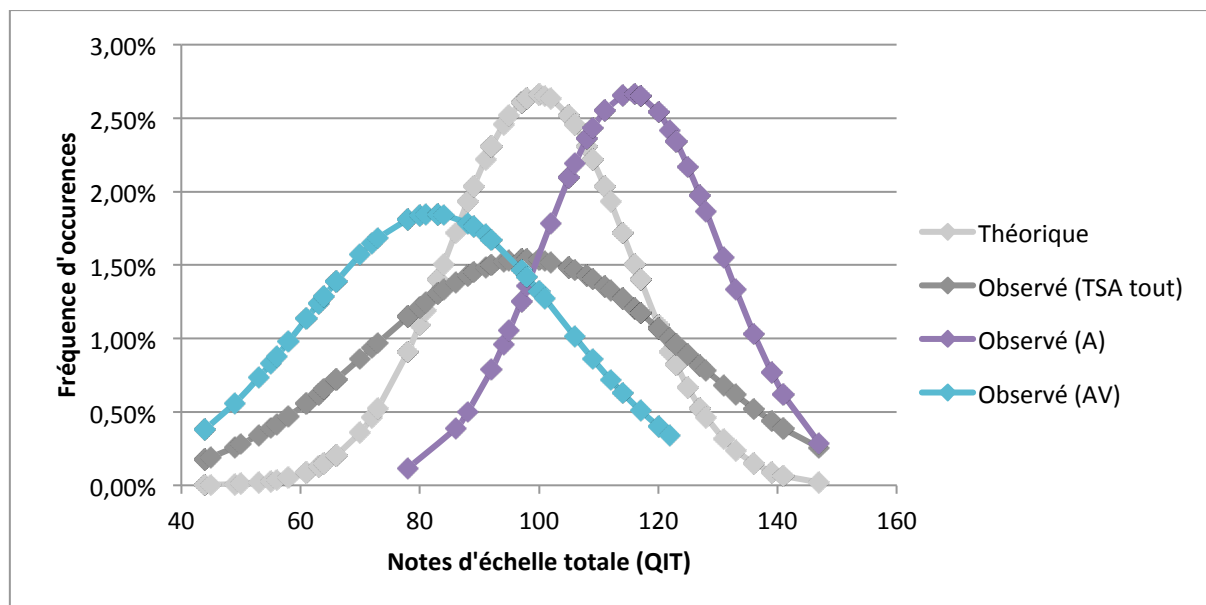
	70	80	90	100	110	120	130
	Très faible	Limite	Moyen faible	Moyen	Moyen fort	Supérieur	Très supérieur
Observé	1,02%	0,00%	4,08%	41,84%	23,47%	20,41%	9,18%
Théorique	2,20%	6,70%	16,10%	50,00%	16,10%	6,70%	2,20%

2.2.2 Participants TSA

L'évaluation des profils cognitifs des participants TSA s'est révélée particulièrement compliquée. En effet, les échelles de Wechsler font beaucoup appel aux compétences verbales, ce qui ne s'avère pas toujours adapté pour un participant avec autisme. Malgré tout, il a été possible de réaliser l'évaluation complète chez 112 des 171 participants TSA : 56 des 59 participants syndrome d'Asperger, 53 des 77 participants autisme verbal, et 3 des 35 participants autisme non verbal. Effet non surprenant, les trois participants autisme non verbal ont obtenu des scores plancher aux épreuves verbales. Toutefois, et étant donné que des participants TSA du groupe autisme verbal ont également obtenu des scores plancher dans ces subtests, nous les avons inclus dans l'analyse des profils globaux.

Ainsi, l'analyse des scores obtenus à l'échelle de QI révèle une hétérogénéité des profils : les sept profils de base sont retrouvés chez les participants TSA, mais la répartition de ces derniers est significativement différente comparativement à la répartition théorique dans la population générale (moyenne de la population générale : $m = 100$, $s = 15$ (Wechsler, 2004, 2006, 2011) ; moyenne de l'échantillon : $m = 98$, $s = 26$; $t(111) = -4.05$, $p < .0001$) (Figure 2-2). En effet, la représentation graphique de la distribution observée est plus écrasée que la représentation graphique théorique, suggérant moins de profils typiques (« moyen faible », « moyen », et « moyen fort »), et davantage de profils atypiques (« très faible », « limite », « supérieur », et « très supérieur »).

Figure 2-2 : Distribution observée des QIT des participants TSA ayant passé l'évaluation cognitive (en gris foncé), ainsi que des deux sous-groupes syndrome d'Asperger (en violet) et autisme verbal (en bleu), comparativement à la distribution théorique attendue dans la population générale (en gris clair).



En s'intéressant plus en détails aux deux sous-groupes les plus représentés, que sont le groupe syndrome d'Asperger (N=56) et le groupe autisme verbal (N=53), il semblerait que cette différence entre la distribution théorique et la distribution observée (TSA tout) soit due à une distribution bimodale : il y a moins de profils « moyen » dans chacun des deux groupes, plus de profils « moyen faible » et inférieurs dans le groupe autisme verbal, et plus de profils « moyen fort » et supérieurs dans le groupe syndrome d'Asperger. Le groupe de participants TSA n'est donc pas un groupe homogène : chacun des deux sous-groupes illustrés a une distribution unimodale (décalée vers les scores hauts pour le groupe syndrome d'Asperger, et décalée vers les scores bas pour le groupe autisme verbal). Effectivement, la distribution des participants syndrome d'Asperger est très semblable à la distribution des participants NT de notre échantillon, suggérant, qu'en terme de QI, les participants syndrome d'Asperger ne sont pas différents des participants NT.

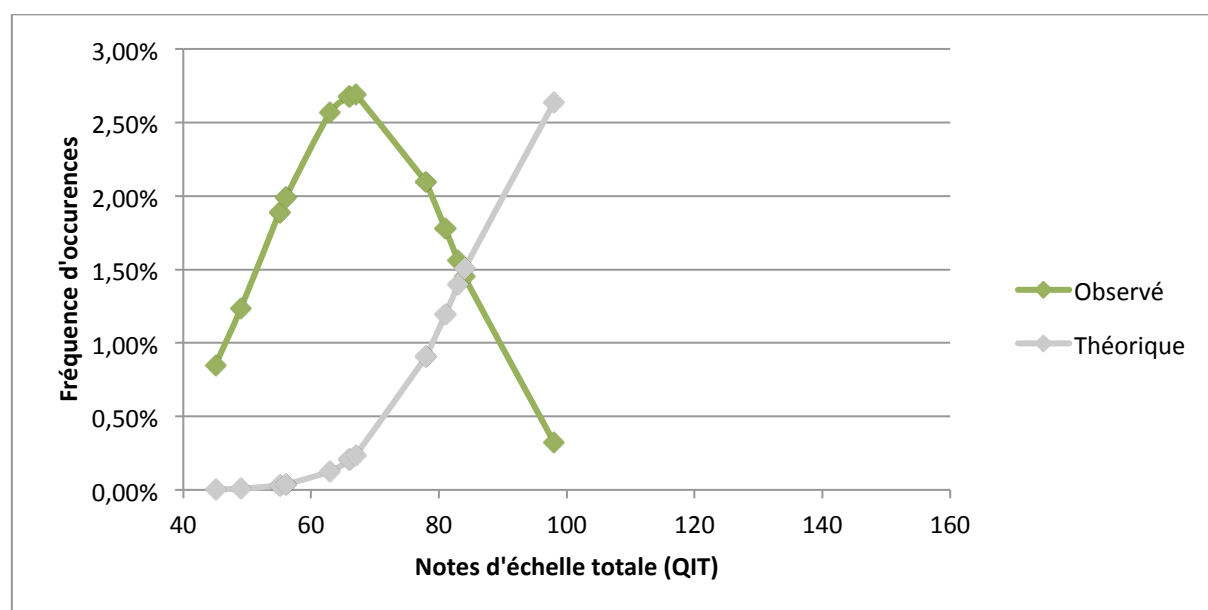
Tableau 2-5 : Pourcentage des sept types de profil (« très faible », « limite », « moyen faible », « moyen », « moyen fort », « supérieur », et « très supérieur ») observés chez l'ensemble des participants TSA ayant passé l'évaluation cognitive, ainsi que pour les deux sous-groupes (A) syndrome d'Asperger et (AV) autisme verbal, comparativement à la distribution attendue dans la population générale, et notes d'échelle totale faisant office de bornes.

	70	80	90	100	110	120	130
	Très faible	Limite	Moyen faible	Moyen	Moyen fort	Supérieur	Très supérieur
Observé (TSA)	17,86%	6,25%	10,71%	26,79%	20,54%	9,82%	8,04%
Observé (A)	0,00%	1,79%	3,57%	30,36%	30,36%	17,86%	16,07%
Observé (AV)	32,08%	11,32%	18,87%	24,53%	11,32%	1,89%	0,00%
Théorique	2,20%	6,70%	16,10%	50,00%	16,10%	6,70%	2,20%

2.2.3 Participants SW

La majorité des personnes ayant le syndrome de Williams-Beuren présente un déficit cognitif léger à modéré, avec un QI aux alentours de 60 (Encyclopédie Orphanet, 2012; Gilbert-Dussardier, 2006; Mervis et al., 2000). C'est également le cas dans notre population SW : le QI moyen observé est de 67.50, les scores mesurés s'étalant de 45 (« très faible ») à 98 « moyen ») (Figure 2-3).

Figure 2-3 : Distribution observée des QIT des participants SW ayant passé l'évaluation cognitive (en vert), comparativement à la distribution théorique attendue dans la population SW générale (en gris).



2.3 Appréciation de l'audition, des langues et des capacités musicales

Afin de mettre en évidence des particularités auditives, langagières et musicales de chaque participant, facteurs qui peuvent impacter la perception auditive et langagière, nous avons utilisé un questionnaire spécialement conçu pour cette étude, et composé de 12 questions, estimant l'audition (otites à répétitions, appareillage auditif, problèmes auditifs dans la famille, etc.), la sensibilité aux sons, l'expérience musicale, l'exposition à la musique, l'exposition aux langues, ainsi que le développement du langage (âge de production des premiers mots et des premières phrases) (Annexe 3). Le choix de ces facteurs se justifie de la façon suivante.

- *Otites*

De nombreux travaux ont mis en évidence un lien entre retard de langage et otites moyennes (Groenen, Crul, Maassen, & van Bon, 1996; Mody, Schwartz, Gravel, & Ruben, 1999; Schönweiler, Ptok, & Radü, 1998; Shriberg, Friel-Patti, Flipsen, & Brown, 2000; Teele et al., 1990). Par exemple, Teele et al. (1990) ont montré que des enfants de 7 ans, qui avaient présenté des épisodes d'otite moyenne avant l'âge de 3 ans, avaient de moins bonnes

performances dans les domaines du langage, des apprentissages scolaires, et des capacités cognitives générales, et que l'importance des troubles étaient corrélée à la durée des épisodes infectieux. Il semblerait même que le niveau de perte auditive associée à une otite moyenne, évalué à l'âge de 12-18 mois, soit prédictif d'un retard de langage à l'âge de 3 ans (Schriberg et al., 2000), et que cette surdité de transmission ait parfois des effets à plus long terme chez les enfants, notamment dans le domaine des représentations phonologiques (Mody et al., 1999 ; Groenen et al., 1996). Ainsi, et bien que la majorité de ces résultats repose sur un biais dû au fait que les enfants présentant un retard de langage sont plus souvent amenés à faire un bilan auditif que les enfants sans trouble langagier (Bishop, 1997), le risque n'est pas nul. Il est donc important de pouvoir écarter le retard de langage observé dans notre population atypique comme consécutif à des otites à répétitions.

- *Hyperacousie*

Nous avons vu dans l'introduction générale que les personnes avec autisme ou porteur du syndrome de Williams pouvaient être particulièrement sensibles aux sons. Il s'avère que l'hyperacousie concerne également 2% de la population générale, et touche tous les âges de développement (Andersson, Lindvall, Hursti, & Carlbring, 2002; Baguley, 2003). Elle se définit comme « une intolérance inhabituelle aux sons environnementaux » ou encore comme « des réponses systématiquement exagérées ou inappropriées aux sons qui ne sont ni menaçants ni désagréablement forts pour un normo-entendant » (Lurquin & Papart, 2014, 47). Ainsi, l'hyperacousie résulte d'une diminution de la tolérance aux bruits environnants, et se manifeste différemment selon les individus, allant de la gêne à la douleur. Explorer l'hyper-sensibilité aux bruits dans nos trois populations paraît donc tout à fait pertinent, notamment afin de mettre en évidence un éventuel lien entre hyperacousie et seuils de discrimination auditive pour la durée et pour le pitch.

- *Expérience musicale*

Le langage et la musique ont de nombreux points communs (Besson, Chobert, & Marie, 2011; Patel, 2008, 2010) : ce sont tous les deux des signaux auditifs complexes, basés sur les mêmes paramètres acoustiques que sont la durée, l'intensité, et le pitch, qui suivent plusieurs niveaux d'organisation (la morphologie, la phonologie, la sémantique, la syntaxe, et la pragmatique pour le langage ; le rythme, la mélodie, et l'harmonie pour la musique). De

plus, des études en imagerie cérébrale ont montré que la musique et le langage partageaient des ressources neuronales communes pour le traitement sémantique (Koelsch et al., 2004), le traitement syntaxique (Jentschke, Koelsch, & Friederici, 2005; Koelsch, Gunter, Wittfoth, & Sammler, 2005; Maess, Koelsch, Gunter, & Friederici, 2001; Patel, Gibson, Ratner, Besson, & Holcomb, 1998), et le traitement de la prosodie (Besson, Schön, Moreno, Santos, & Magne, 2007; Patel, 2008, 2010). Par ailleurs, des études récentes ont montré que l'expérience musicale avait un impact sur la perception et la production de sons provenant d'une langue étrangère (Slevc & Miyake, 2006 ; pour une revue de la littérature, voir Chobert & Besson, 2013). De ce fait, il est possible que les participants de notre étude ayant ou ayant eu une expérience musicale relativement longue, aient de meilleures performances dans les tâches de psychoacoustique et de perception prosodique auxquelles nous nous intéressons, comparativement aux participants n'ayant pas ou ayant peu d'expérience avec la musique.

- *Bilinguisme*

Selon qu'un nourrisson grandisse dans un environnement monolingue ou bilingue, les stratégies d'apprentissage qu'il va mettre en place seront quelque peu différentes (Sebastian-Galles, in press; Werker, Byers-Heinlein, & Fennell, 2009; Werker & Byers-Heinlein, 2008). En particulier, dans une tâche de bootstrapping comme celle que nous utilisons dans l'Expérience 4, un bébé monolingue utilise les mots de fonctions (fréquents) comme point d'ancrage pour segmenter la parole en unités syntaxiques pertinentes, et ainsi déterminer l'ordre des mots de sa langue maternelle (Gervain et al., 2008; Höhle et al., 2001). Mais pour un bébé qui grandit dans un environnement bilingue où deux langues de structures opposées se côtoient (VO et OV), la fréquence des mots n'est pas un indice suffisant : les mots fréquents marquant aussi bien le début d'un syntagme dans une langue, et la fin d'un syntagme dans une autre. Ils vont donc s'appuyer sur un indice supplémentaire : la prosodie (Gervain & Werker, 2013). De ce fait, les participants bilingues pourraient faire preuve d'une sensibilité accrue aux indices prosodiques, comparativement aux participants monolingues.

- *Développement linguistique*

Enfin, il nous semblait important de vérifier l'âge de production des premiers mots et des premières phrases de l'ensemble de nos participants. D'une part afin de s'assurer que les participants NT ont bien eu un développement typique du langage, et d'autre part afin de vérifier que, dans le groupe de participants TSA, les individus ayant le syndrome d'Asperger ont bien eu un développement du langage typique, et les autres – en ce qui concerne les participants verbaux – un retard dans le développement de leur langage.

Notons que toutes les informations précédentes n'ont pu être obtenues chez l'ensemble des participants.

2.3.1 Participants NT

2.3.1.1 Otites

Dans notre questionnaire, nous avons demandé aux participants et/ou à leur famille combien ils avaient eu d'otites depuis leur naissance. Nous avons considéré trois groupes de participants selon le nombre d'otites qu'ils avaient eu au cours de leur vie : ceux n'ayant jamais eu d'otite, ceux ayant eu un faible nombre d'otites (≤ 3), correspondant au groupe « peu », et ceux ayant eu un grand nombre d'otites (> 4), correspondant au groupe « élevé ». Parmi les 104 participants NT ayant répondu à cette question, 24 n'ont jamais eu d'otite, 44 en ont eu entre une et trois, et 36 en ont eu au moins quatre.

2.3.1.2 Hyperacousie

Nous avons demandé aux participants et/ou à leur famille s'ils avaient déjà montré une certaine sensibilité à l'égard de sons particuliers (comme par exemple le bruit d'un aspirateur) et, si oui, quelle était la nature de ces sons. Parmi les 106 participants NT ayant répondu à cette question, 17 ont montré une hypersensibilité auditive, soit 16 % des personnes interrogées. L'âge d'apparition de cette sensibilité particulière était compris entre 0 (dès la naissance) et 22 ans, bien que la majorité des participants rapportent un début dans l'enfance (avant l'âge de 10 ans). Le niveau des sons auxquels la sensibilité apparaît est rapportée comme étant plus calmes que la voix lors d'une conversation [1 participant : réfrigérateurs, fours], à peu près aussi calmes que la voix lors d'une conversation [1

participant : radio, transports en commun, fausses notes], plus forts qu'une conversation mais pas désagréables/douloureux à entendre [3 participants : aspirateur, sirènes, ou bruits soudains qui induisent un effet de surprise], ou désagréables et douloureux à entendre [14 participants : sons discordants/forts/inattendus, feux d'artifice, freins de TGV arrivant en gare, perceuse, craie sur un tableau noir, ultrasons, grincement de fourchette, crissement de polystyrène]¹¹. Pour la majorité d'entre eux [10], cette sensibilité aux sons est restée identique et n'a pas évolué avec l'âge. Pour les autres, elle s'est amplifiée [2], elle a diminué [2], ou elle a disparu [3].

2.3.1.3 Expérience musicale

Nous avons demandé aux participants et/ou à leur famille s'ils avaient suivi des cours ou participé à des groupes de musique. Parmi les 106 participants NT ayant répondu à cette question, 81 jouaient un [50] ou plusieurs [31] instruments ou voix. Les activités musicales les plus rapportées sont le piano [26], le chant [20], et la guitare [17]. Au total, parmi les 81 « musiciens », 9 ont suivi des cours de musique pendant moins d'un an, 23 entre un et deux ans, 22 entre trois et quatre ans, et 28 pendant cinq ans ou plus. De plus, 6 participants rapportent avoir été identifiés par un professionnel comme ayant l'oreille absolue, soit 6% des personnes interrogées.

2.3.1.4 Bilinguisme

L'ensemble des participants était de langue maternelle française : 265 étaient monolingues, 19 bilingues (arabe [6], espagnol [3], persan [2], portugais [2], roumain [2], anglais [1], russe [1], tamoul [1], et turc [1]), et 2 trilingues (roumain-russe [1] et ukrainien-russe [1]) (avec le français parmi leurs langues maternelles). Le seul participant ayant une langue maternelle autre que le français (arabe) n'a pas été inclus dans les analyses.

2.3.1.5 Développement linguistique

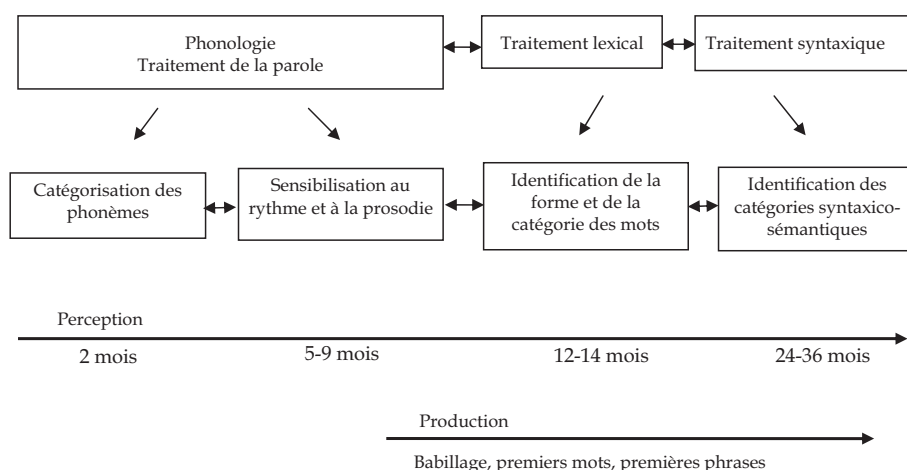
Nous avons demandé aux participants et/ou à leur famille à quel âge ils avaient prononcé leurs premiers mots, à quel âge ils avaient prononcé leurs premières phrases, et si leurs parents avaient remarqué un arrêt ou un déclin dans le développement du langage

¹¹ Notons que le total (1+1+3+14) est supérieur à 17 car certains participants se sont montrés sensibles à plusieurs types de sons.

oral. Parmi les 38 participants NT ayant répondu à cette question, la majeure partie (36) a prononcé ses premiers mots entre 6 et 18 mois de vie ; les deux autres participants rapportent des premiers mots à 20 et 23 mois environ. Concernant les premières phrases, tous sauf un rapportent un âge de production avant 30 mois ; le dernier rapporte un âge de 4 ans. Aucun ne fait part d'un arrêt ou d'un déclin dans le développement de son langage oral.

Ainsi, tous les participants interrogés sauf un semblent avoir eu un développement du langage tout à fait ordinaire. En effet, dans le développement typique du langage, le nourrisson babille et produit ses premiers mots aux alentours de 9-10 mois, puis vient l'explosion lexicale vers 18 mois, à deux ans il est capable d'assembler deux mots, et la construction des catégories morphosyntaxiques apparaît vers l'âge de 30 mois (INSERM, 2007) (Figure 2-4). De ce fait, bien que deux des participants rapportent un âge de production des premiers mots à 20 et 23 mois, l'âge de production de leurs premières phrases étant typique, nous ne considérons pas que ces participants aient eu un retard de développement du langage. En revanche, pour le participant rapportant un âge de production des premières phrases à 4 ans (et un âge de production des premiers mots à 12 mois), nous pouvons envisager une lenteur de développement de son langage ; toutefois, étant donné qu'il ne rapporte aucun arrêt ou déclin, il se peut aussi que ce participant n'ait pas eu de référence fiable et nous ait donné un âge approximatif sans en être sûr.

Figure 2-4 : Chronologie des acquisitions du langage, chez l'enfant de zéro à trois ans (schéma issu de INSERM, 2007).



2.3.2 Participants TSA

2.3.2.1 Otites

Parmi les 158 participants TSA ayant répondu à cette question, 44 n'ont jamais eu d'otite, 53 ont eu un faible nombre d'otites (≤ 3), et 61 ont eu un grand nombre d'otites (> 4).

2.3.2.2 Hyperacousie

Parmi les 162 participants TSA ayant répondu à cette question, 145 ont montré une hypersensibilité auditive, soit 90 % des personnes interrogées. L'âge d'apparition de cette sensibilité particulière était compris entre 0 (dès la naissance) et 31 ans, bien que la majorité des participants rapportent un début dans l'enfance (avant l'âge de 10 ans). Les sons sont rapportés comme étant plus calmes que la voix lors d'une conversation [16 participants : trotteuse de l'horloge, craquement du bois, mouches, réfrigérateur, chauffage électrique, ronronnement des ordinateurs, bruits d'eau], à peu près aussi calmes que la voix lors d'une conversation [10 participants : aspirateur, cantine scolaire, tondeuses de coiffeur, sèche-linge, voix rauques, certaines publicités télévisées], plus forts qu'une conversation mais pas désagréables/douloureux à entendre [69 participants : boulevards, motos, foule, sons aigus, adultes qui parlent fort, perceuses, klaxons], ou désagréables et douloureux à entendre [80 participants : musique, brouhaha, sirènes, feux d'artifice, travaux, pleurs d'enfants]. Pour la majorité d'entre eux [69], cette sensibilité aux sons a diminué avec l'âge. Pour les autres, elle est restée identique [37], elle s'est amplifiée [28], ou elle a disparu [10].

2.3.2.3 Expérience musicale

Parmi les 162 participants TSA ayant répondu à cette question, 82 jouaient un [54] ou plusieurs [28] instruments/voix. Les activités musicales les plus rapportées sont le piano [30], le chant [30], l'éveil musical [18], et la guitare [12]. Au total, parmi les 82 « musiciens », 25 ont suivi des cours de musique pendant moins d'un an, 18 entre un et deux ans, 17 entre trois et quatre ans, et 22 pendant cinq ans ou plus. De plus, 20 participants rapportent avoir été identifiés par un professionnel comme ayant l'oreille absolue, soit 12% des personnes interrogées.

2.3.2.4 *Bilinguisme*

L'ensemble des participants TSA était de langue maternelle française : 156 étaient monolingues, et 15 bilingues (avec le français parmi leurs langues maternelles) (Tableau 2-6).

Parmi les participants, 1 seul était bilingue (anglais) dans le groupe A, 10 étaient bilingues (allemand [1], anglais [1], arabe [1], chinois [1], coréen [1], monténégrin [1], polonais [1], serbo-croate [1], tamoul [1], et turc [1]) dans le groupe AV, et 4 étaient bilingues (arabe [1], fon [1], lingala [1] et portugais [1]) dans le groupe ANV.

Tableau 2-6 : Langues maternelles des participants TSA en fonction de leur groupe (syndrome d'Asperger [A], autisme verbal [AV], et autisme non verbal [ANV]).

	Monolingues	Bi- ou Plurilingues
Syndrome d'Asperger	58	1
Autisme verbal	67	10
Autisme non verbal	31	4

2.3.2.5 *Développement linguistique*

Comme on peut le deviner étant donnée la variabilité des capacités verbales dans l'autisme, le développement du langage des 137 participants TSA ayant répondu à cette question, est très hétérogène, allant de 6 mois à 8 ans pour la production des premiers mots par exemple. Il nous semblait essentiel de vérifier l'âge de développement du langage en départageant les deux groupes de personnes avec autisme ayant accès au langage oral : les participants du groupe syndrome d'Asperger – ayant un développement typique du langage – et les participants du groupe autisme verbal – ayant un retard de développement du langage.

Ainsi, parmi les 55 participants du groupe syndrome d'Asperger ayant répondu à cette question, 14 ont prononcé leurs premiers mots après 18 mois (entre 20 mois et 6 ans) : il semblerait donc que tous les participants de ce groupe n'aient pas eu un développement ordinaire du langage oral, malgré leur diagnostic. De plus, 15 rapportent un âge de production des premières phrases après 30 mois (entre 3 ans et 6 ans 6 mois), et 7 rapportent un déclin ou un arrêt dans le développement du langage, confirmant donc un

développement atypique du langage oral chez certains participants TSA diagnostiqué syndrome d'Asperger.

Par ailleurs, parmi les 74 participants du groupe autisme verbal ayant répondu à cette question, 32 ont prononcé leurs premiers mots avant 18 mois, soit à un âge ordinaire, et 21 ont prononcé leurs premières phrases avant 30 mois, soit à un âge ordinaire également. De ce fait, il y a dans ce groupe des participants TSA ayant eu un développement tout à fait typique du langage oral.

Etant donnée l'incohérence entre certains diagnostics posés et les âges de développement du langage, compte tenu du fait que ce qui distingue les individus ayant le syndrome d'Asperger est le développement ordinaire de leur langage oral, contrairement aux autres individus avec autisme, il sera intéressant, dans l'avenir, d'analyser nos données en tenant compte de cette variable, plutôt que du diagnostic (voir Discussion générale).

2.3.3 Participants SW

2.3.3.1 Otites

Parmi les 17 participants SW ayant répondu à cette question, 1 n'a jamais eu d'otite, 4 ont eu un faible nombre d'otites (≤ 3), et 12 ont eu un grand nombre d'otites (> 4).

2.3.3.2 Hyperacousie

Parmi les 17 participants TSA ayant répondu à cette question, tous (100 %) ont montré une hypersensibilité auditive. L'âge d'apparition de cette sensibilité particulière était compris entre 0 (dès la naissance) et 3 ans (10 rapportent un début avant l'âge de un an, dont 5 dès la naissance). Les sons sont rapportés comme étant à peu près aussi calmes que la voix lors d'une conversation [4 participants : ouverture d'une bouteille de soda ou d'eau gazeuse, aspirateur, applaudissements, essorage de la machine à laver dans une pièce voisine], plus forts qu'une conversation mais pas désagréables/douloureux à entendre [12 participants : marteaux-piqueurs, mixeurs, motos, avions, aboiements de chien, pétards, sifflement d'une bouilloire], ou désagréables et douloureux à entendre [7 participants : ballons qui éclatent, sirènes, feux d'artifice, brouhaha, travaux], mais jamais plus calmes que la voix lors d'une conversation. Pour la majorité d'entre eux [9], cette sensibilité aux sons a diminué avec l'âge. Pour les autres, elle est restée identique [4], ou elle s'est amplifiée [4].

2.3.3.3 Expérience musicale

Parmi les 17 participants TSA ayant répondu à cette question, 13 jouaient un [4] ou plusieurs [9] instruments/voix. Les activités musicales les plus rapportées sont le chant [5], la batterie [4], et l'éveil musical [4]. Au total, parmi les 13 « musiciens », 1 a suivi des cours de musique pendant moins d'un an, 4 entre un et deux ans, 5 entre trois et quatre ans, et 3 pendant cinq ans ou plus. De plus, 2 participants rapportent avoir été identifiés par un professionnel comme ayant l'oreille absolue, soit 12 % des personnes interrogées.

2.3.3.4 Bilinguisme

L'ensemble des participants SW était de langue maternelle française : 16 monolingues, et 1 trilingue (français-tchèque-portugais).

2.3.3.5 Développement linguistique

Parmi les 16 participants SW ayant répondu à cette question, 6 ont prononcé leurs premiers mots entre 10 et 18 mois de vie ; les 10 autres rapportent des premiers mots entre 2 et 3 ans. Concernant les premières phrases, 3 un rapportent un âge de production avant 30 mois ; les 13 autres rapportent un âge entre 3 et 6 ans. De plus, 4 font part d'un arrêt ou d'un déclin dans le développement du langage oral : 2 rapportent une évolution par paliers/phases, 1 rapporte un arrêt pendant quelques mois vers l'âge de 4 ans 6 mois, et 1 rapporte une régression récurrente à la fin de l'hiver ou au début du printemps. De ce fait, les données obtenues ici confirment les résultats des études antérieures (Masataka, 2001; Mervis & Bertrand, 1997; Singer Harris et al., 1997) montrant un décalage de l'âge de production des premiers mots chez les individus SW comparativement aux enfants typiques.

2.4 Informations diverses

Parallèlement à toutes les informations listées précédemment, nous avons créé une fiche de renseignements (Annexe 4) recueillant l'origine géographique des participants, les statuts socio-économiques de leurs parents, les précisions concernant leur naissance (à terme ou non, poids, taille, périmètre crânien), l'insertion en milieu scolaire et leur niveau d'étude, la latéralité, la fratrie, et les détails concernant le diagnostic (pour les deux

populations atypiques). L'impact de ces variables sur le développement n'a pas pu être exploité dans le cadre de cette thèse, mais fera l'objet d'analyses ultérieures.

3. CHAPITRE 3 (EXPERIENCE 1) :

PSYCHOACOUSTIQUE, ÉTUDE DES SEUILS DE DISCRIMINATION AUDITIVE

3.1 Introduction

Dans cette première expérience, nous nous sommes intéressés aux capacités de discrimination de la durée et du pitch – deux indices acoustiques qui jouent un rôle important dans la perception de la prosodie – chez des participants au développement typique ou atypique. Nous avons utilisé une tâche psychoacoustique classique, en visant quatre objectifs. Premièrement, nous voulons compléter les données existantes dans la littérature chez les personnes neurotypiques. En effet, comme nous l'avons vu dans l'introduction générale, très peu d'études se sont intéressées aux seuils de discrimination auditive chez de très jeunes enfants, et aucune ne s'est attachée à des locuteurs natifs francophones. De plus, ce travail sera le premier à étudier une tranche d'âge aussi large. Deuxièmement, les données concernant les seuils de discrimination chez les personnes avec autisme sont très hétérogènes et incomplètes ; par ce travail, nous tentons donc d'explorer la discrimination auditive chez l'ensemble du spectre, à tous les âges développementaux. Troisièmement, cette étude sera la première à porter sur la psychoacoustique dans le syndrome de Williams. Enfin, l'objectif initial de la thèse étant de faire le lien entre perception de bas niveau et processus de plus haut niveau cognitif, nous allons pouvoir vérifier s'il existe un lien entre les capacités psychoacoustiques et le traitement de la parole, sur un large échantillon de participants.

3.1.1 Prédiction

Etant donnée l'évolution des seuils de discrimination avec l'âge (Banai & Yuval-Weiss, 2013 ; Hartley, Wright, Hogan, & Moore, 2000 ; Maxon & Hochberg, 1982 ; Walker, Hall, Klein, & Phillips, 2006), et la variabilité des profils chez les jeunes enfants (Hartley et al., 2000 ; Moore, Ferguson, Halliday, & Riley, 2008 ; Walker et al., 2006), nous nous attendons à une amélioration des seuils et une homogénéisation des profils avec le développement ; autrement dit, les adultes devraient avoir des seuils plus bas (et donc plus fins) que les enfants, et nous devrions observer une plus grande variabilité des résultats chez les enfants comparativement aux adolescents et aux adultes. Par ailleurs, étant donnée la perte auditive liée à l'âge (presbyacousie), nous pourrions nous attendre à une augmentation de la valeur des seuils pour les hautes fréquences chez les participants à partir de 31 ans.

Des études antérieures ont montré un traitement auditif atypique chez les personnes avec autisme (Kellerman, Fan, & Gorman, 2005; Nieto del Rincon, 2008; Samson et al., 2006). Toutefois, on constate un certain nombre de divergences entre ces études. Premièrement, les résultats varient selon le matériel utilisé. En effet, certains chercheurs ont mis en évidence de meilleures performances de discrimination de tons purs variant en pitch chez les TSA par rapport à des individus typiques de même âge chronologique (Bonnel et al., 2010; C. R. G. Jones et al., 2009; McCann & Peppé, 2003; O’Riordan & Passetti, 2006), ou encore un temps de réaction plus rapide pour percevoir des changements acoustiques (Gomot et al., 2002), alors que d’autres ont montré une difficulté à traiter les sons complexes (Bertone et al., 2005; Samson et al., 2011). Deuxièmement, les résultats varient selon le niveau de fonctionnement des participants TSA : Bonnel et al. (2003) ont montré que des enfants avec autisme ayant un haut niveau de fonctionnement étaient meilleurs que des enfants neurotypiques contrôles dans des tâches de discrimination de pitch et de catégorisation. En revanche, Chevallier, Noveck, Happé, & Wilson (2008) ont montré des performances similaires entre des participants ayant le syndrome d’Asperger et des contrôles neurotypiques dans une tâche de perception de pitch. Et troisièmement, les résultats varient selon l’âge des participants : Jones et al. (2009) ont mis en évidence un sous-groupe de participants TSA dans une tâche de discrimination de pitch : alors qu’ils ne montrent pas de différence au niveau du groupe entre les participants TSA et leurs contrôles neurotypiques, quelques enfants et adolescents avec autisme (environ 1 TSA sur 5) révèlent de meilleures performances. De ce fait, nous pourrions mettre en évidence des profils contrastés selon les spécificités de déficits des participants TSA, et selon leur âge.

Peu d’études se sont intéressées à la perception des indices acoustiques du langage dans le syndrome de Williams. Néanmoins, ce syndrome est bien connu pour être associé à une hyperacousie (Gothelf, Farber, Raveh, Apter, & Attias, 2006; Klein et al., 1990; van Borsel, Curfs, & Fryns, 1997), qui apparaît dans la première année de vie, et tend à diminuer durant l’adolescence. De ce fait, nous pourrions mettre en évidence un avantage des participants SW sur leurs contrôles, mais seulement jusqu’à l’adolescence. Toutefois, étant donné que certaines études ont montré que les individus SW ne semblent pas avoir une sensibilité plus fine en termes de seuils absolus, mais plutôt une légère perte de l’acuité

auditive (Cohen et al., 2005; Marler et al., 2005), nous pourrions tout aussi bien ne pas observer de différence, et ce à tous les âges de développement.

3.1.2 Motivation des tâches

L'oreille humaine est capable de percevoir des fréquences allant de 20 à 20 000 Hz environ, et est davantage sensible aux fréquences moyennes (400 à 2000 Hz) et aiguës (2000 à 20 000 Hz), correspondant à celle de la parole. En effet, l'étendue de la voix humaine couvre une gamme de fréquences moins large. La fréquence fondamentale (F_0) de la parole s'inscrit dans un registre de 100 à 150 Hz chez l'homme, de 140 à 240 Hz chez la femme, et de 300 à 350 Hz chez l'enfant (Brin, Courrier, Lederle, & Masy, 2004; Calliope, 1989; Lapaire & Rotgé, 1993; Vaissière, 2006), et les formants vocaliques (fréquences de résonance des voyelles) (F_1 , F_2 , F_3 et F_4) se situent approximativement entre 250 Hz et 4500 Hz (pour une revue de la littérature, voir Georgeton, Paillereau, Landron, Gao, & Kamiyama, 2012). Ainsi, étant donnée notre problématique, visant à déterminer s'il existe un lien entre perception de bas niveau acoustique, et perception de plus haut niveau, dans le domaine du langage, nous avons choisi de tester deux bandes de fréquences appartenant au domaine de la parole (entre 100 et 500 Hz ; et entre 1000 et 2000 Hz), relativement extrêmes l'une de l'autre sans être désagréables à entendre. De plus, de nombreux travaux antérieurs ont utilisé 1000 Hz comme fréquence de référence dans une tâche de discrimination, aussi bien dans le développement typique (Aslin, 1989; Dai & Micheyl, 2011; Irwin, Ball, Kay, Stillman, & Rosser, 1985; Maxon & Hochberg, 1982; B. C. J. Moore, 1973; Olsho et al., 1987; Olsho, 1984) que dans le développement atypique (Bonnell, 2009; Bonnell et al., 2003; Capber, 2011; Gomot et al., 2002; Stanutz, 2009). Cette valeur n'est pas anodine puisqu'au niveau développemental, les capacités de discrimination des bébés et des enfants seraient à peu près semblables à celles des adultes pour les hautes fréquences, alors que pour des fréquences jusqu'à 1000 Hz, il faudrait attendre l'âge de 11 ans pour observer des seuils similaires à ceux observés chez l'adulte (pour une revue de la littérature, voir Werner, 2000).

Par ailleurs, en ce qui concerne la tâche de discrimination de la durée, nous avons défini une valeur de référence proche de la durée d'une syllabe en français, à savoir, xx ms.

Enfin, nous avons choisi de ne pas tester les seuils de discrimination pour l'intensité, et ce pour une raison simple : l'intensité acoustique étant variable selon l'environnement dans lequel elle se propage, et étant donné que ce travail de thèse exigeait des

déplacements sur tout le territoire national, il aurait été impossible de réunir des conditions expérimentales strictement identiques pour tous les participants (pas de cabine insonorisée chez les familles, par exemple).

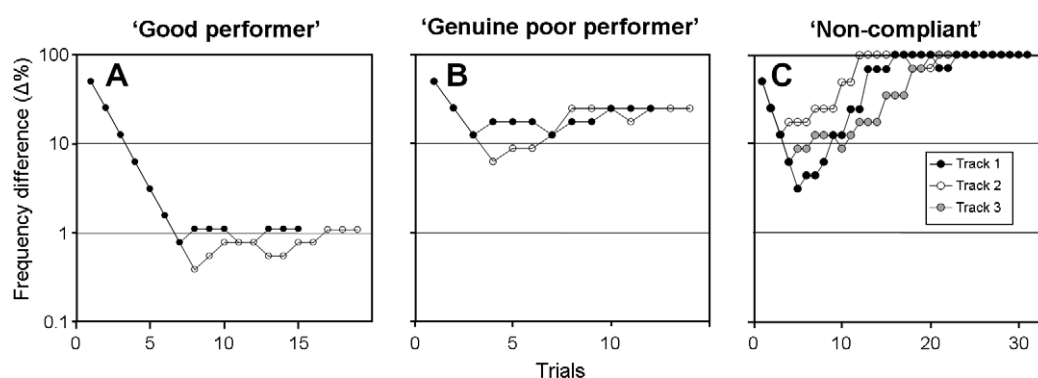
Nous avons choisi une tâche psychoacoustique qui consiste à présenter trois sons (AXB), et à demander au participant d'identifier le son différent (X étant identique à A ou B). Il existe des versions différentes, comme par exemple présenter deux sons (AX), et demander au participant de définir si les sons sont identiques ou différents, mais nous avons jugé cette tâche trop difficile pour les enfants de moins de 6 ans, ainsi que pour les participants atypiques ayant un retard développemental, car les concepts de « identiques » et « différents » ne sont pas encore bien encrés avant cet âge (Pineau & Beaufils, 1988). Nous aurions également pu présenter deux paires de sons (AXBY), l'une composée de deux sons identiques, l'autre composée de deux sons différents, mais il aurait alors fallu aux participants de mémoriser quatre stimuli auditifs au lieu trois, compliquant le processus de traitement de l'information chez les plus jeunes enfants. Effectivement, la tâche AXB est celle qui est la plus souvent utilisée dans la littérature développementale (voir par exemple : Mengler, Hogben, Michie, & Bishop, 2005; Richardson, Thomson, Scott, & Goswami, 2004; Sutcliffe & Bishop, 2005).

3.1.3 Evaluation des données : spécificités liées aux jeunes enfants et aux participants atypiques

Traditionnellement, les tâches psychoacoustiques nécessitent la passation d'un très grand nombre d'essais (plusieurs centaines), ce qui demande de la part des participants une concentration continue et une attention soutenue. Evidemment, les jeunes enfants et les participants atypiques ne sont pas toujours en mesure de rester attentifs pendant toute la durée d'une passation. On s'attend donc à des fluctuations d'attention qui introduisent du bruit dans les données. Ce bruit nécessite donc une analyse appropriée. Nous avons donc décidé de prendre en compte les profils attentionnels/comportementaux des participants selon la méthode de Moore et al. (2008). Dans une tâche de discrimination du pitch chez des enfants de 6 à 11 ans, ces auteurs ont distingué trois types de comportements durant la tâche (Figure 3-1) :

- 1) Le *'good performer'* (ou « bon exécutant »), profil le plus largement observé, se caractérise par une succession de réponses correctes, aboutissant à une approche rapide de valeurs proches du seuil. Les enfants *'good performer'* atteignent généralement leur seuil en un nombre d'essais relativement faible, et montrent de très bonnes performances.
- 2) Le *'genuine poor performer'* (ou « exécutant véritablement mauvais »), plus rarement observé, est un profil similaire au précédent à cela près que le seuil de discrimination obtenu est bien moins fin que pour le *'good performer'*.
- 3) Le *'non-compliant'* (ou « non conforme ») est également largement observé, surtout chez les plus jeunes enfants. Souvent, les enfants *'non-compliant'* répondent tout à fait correctement aux premiers essais de la tâche, et semblent avoir compris la consigne, mais dès qu'ils font une première erreur, leurs performances se mettent à diminuer, et ils échouent à des items qu'ils avaient facilement discriminés précédemment. Dans les cas les plus extrêmes, on observe une valeur plafond pour leurs seuils, mais le plus souvent, leurs performances varient de façon cyclique, avec des enchaînements de bonnes réponses, puis des enchaînements d'erreurs, probablement dus à des fluctuations attentionnelles. Les seuils mesurés sont donc souvent très élevés.

Figure 3-1 : Profils comportementaux observés pour une tâche de discrimination du pitch chez des enfants de 6 à 11 ans, dans l'expérience de Moore et al. (2008).



3.1.4 Analyse des données

Dans un premier temps, nous analyserons les seuils de discrimination de l'ensemble des participants NT rencontrés pour ce travail de thèse, y compris ceux qui ne serviront pas

de contrôles pour les populations atypiques. Ensuite, nous analyserons les deux populations atypiques rencontrées : d'abord les participants TSA, de façon globale, puis en distinguant les trois sous-groupes que sont le syndrome d'Asperger, l'autisme verbal et l'autisme non verbal, et finalement les participants SW. Enfin nous comparerons nos deux populations (typique *versus* atypique), en appariant chaque individus atypiques avec un participant contrôle de même genre et de même âge chronologique (ainsi, seul un sous-ensemble de la population NT ne sera inclus dans cette dernière analyse).

3.2 Matériel et méthode

3.2.1 *Stimuli*

Nous avons synthétisé des tons purs par le biais de MATLAB. Nous avons créé trois conditions différentes, selon que la tâche visait à déterminer les seuils de discrimination de tons purs variant en (1) durée, ou les seuils de discrimination de tons purs variant en pitch : (2) basses fréquences et (3) hautes fréquences (Tableau 3-1).

Pour la durée, nous avons créé 401 tons purs couvrant les durées de 100 millisecondes (valeur de référence) à 500 millisecondes (valeur déviante maximale), avec un pas de 1 msec entre chaque. Dans cette condition, les tons purs avaient tous le même pitch (1000 Hz) et la même intensité (86,7 dB).

Pour le pitch, nous avons créé 401 tons purs couvrant les basses fréquences de 100 Herz (valeur de référence) à 500 Herz (valeur déviante maximale), avec un pas de 1 Hz entre chaque ; ainsi que 1001 tons purs couvrant les hautes fréquences de 1000 Herz (valeur de référence) à 2000 Hertz (valeur déviante maximale), avec un pas de 1 Hz entre chaque. Pour ces deux conditions, les tons purs avaient tous la même durée (500 msec) et la même intensité (86,7 dB).

Chaque son était rampé en intensité sur les 20 premières et les 20 dernières msec afin d'éviter les artefacts (clics) liés au début et à la fin du stimulus.

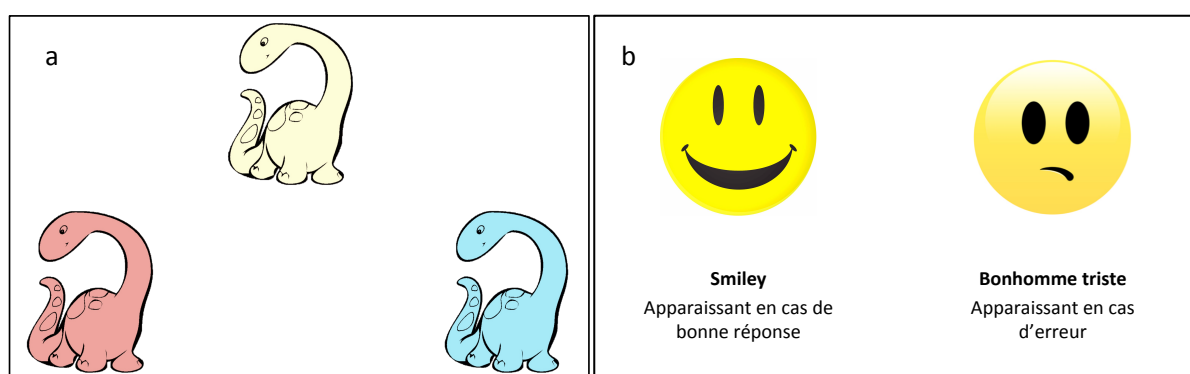
Tableau 3-1 : Détails des tons purs créés pour l'Expérience 1.

CONDITIONS		<i>Durée de référence</i>	<i>Durée déviante</i>	<i>Pitch de référence</i>	<i>Pitch déviant</i>	<i>Intensité</i>	<i>ISI</i>
Durée		100 msec	de 101 à 500 msec	1000 Hz		86,7 dB	1 500ms
Pitch	Basses Fréquences	500 msec		100 Hz	de 101 à 500 Hz	86,7 dB	1 500ms
	Hautes Fréquences	500 msec		1000 Hz	de 1001 à 2000 Hz	86,7 dB	1 500ms

3.2.2 Procédure

La procédure utilisée est inspirée de la « Dino Task » de Dorothy Bishop (Sutcliffe & Bishop, 2005) : nous avons utilisé une tâche psychoacoustique classique (AXB), en utilisant la méthode 3I-2AFC (*three-interval – two alternative forced choice*, pour trois intervalles – un choix forcé à deux alternatives). Le paradigme a été programmé à l'aide de PsyScope X (disponible sur le site <http://psy.ck.sissa.it/>). Chaque participant faisait face à un écran sur lequel apparaissaient trois dinosaures formant un triangle (un dinosaure jaune en haut au milieu, un dinosaure rouge en bas à gauche, et un dinosaure bleu en bas à droite) (Figure 3-2-a). Durant chaque essai, chacun des trois dinosaures faisait un petit mouvement (de type « saut ») simultanément à la présentation d'un ton pur. Ainsi, trois tons purs se succédaient, avec un silence de 1500 msec entre chaque. Le mouvement du dinosaure du haut (jaune) était toujours simultanément à un ton pur de référence (soit : 100 Hz pour les basses fréquences, 1000 Hz pour les hautes fréquences, et 100 msec pour la durée), ainsi que celui d'un des deux dinosaures du bas (soit le rouge à gauche, soit le bleu à droite). Le mouvement du troisième dinosaure était simultanément à un son déviant (soit : de 101 à 500 Hz pour les basses fréquences, de 1001 à 2000 Hz pour les hautes fréquences, et de 101 à 500 msec pour la durée). La tâche était d'identifier le dinosaure ne faisant pas le même son que les autres. Chaque réponse était suivie d'un feedback qui apparaissait en bas de l'écran, au milieu : un smiley en cas de bonne réponse, et un bonhomme triste en cas d'erreur (Figure 3-2-b).

Figure 3-2 : Visuel de la « tâche des dinos » (a) et images de feedback (b) créées pour l'Expérience 1.



Le but étant de déterminer les seuils de discrimination des participants, une procédure adaptative a été programmée pour présenter des tons déviants de plus en plus difficilement discriminables (*two down one up adaptative staircase procedure*) (C. R. G. Jones et al., 2009; Levitt, 1970). Ainsi, le premier son déviant présenté était *a priori* facilement identifiable (ton pur de 400 Hz (*versus* 100 Hz) pour les basses fréquences, 1500 Hz (*versus* 1000 Hz) pour les hautes fréquences, et 300 msec (*versus* 100 msec) pour la durée). Après deux bonnes réponses successives, le son déviant suivant présenté était un ton pur d'une valeur inférieure (plus difficile à discriminer), mais en cas de mauvaise réponse, le son déviant suivant était un ton pur d'une valeur supérieure (plus facile à discriminer). Pour les deux premiers changements de ton pur déviant, la variation suivait un ratio de 2 (par exemple pour les basses fréquences : un ton pur de 200 Hz en cas de réussite à deux items consécutifs, ou de 800 Hz en cas d'échec) pour réduire le nombre d'essais nécessaires ; et à partir du 3^e essai, la variation suivait un ratio de $\sqrt{2}$ (Banai & Yuval-Weiss, 2013; Moore, Cowan, Riley, Edmondson-Jones, & Ferguson, 2011; Moore et al., 2008). Au total, la procédure adaptative autorisait six « changements de direction » (*reversals*) ; c'est-à-dire trois « retours » vers des tons purs de valeurs plus élevées (plus facilement discriminables), ainsi que trois « avancées » vers des tons purs de valeurs inférieures (plus difficilement discriminables), et ceci de façon alternée (voir la Figure 3-3-b pour un exemple). Notons qu'un enchaînement de mauvaises réponses était considéré comme un unique « changement de direction », de même pour un enchaînement de bonnes réponses. La tâche s'arrêtait après 6 *reversals* (une fois le septième *reversal* demandé, en cas d'erreur) (Aslin, 1989; Jones et al., 2009), ou après 60 essais (Banai et al., 2012; Banai & Yuval-Weiss, 2013), et le smiley apparaissait seul au milieu de l'écran.

L'ensemble des participants a été testé sur les trois conditions successivement ; l'ordre de présentation (basses fréquences / hautes fréquences / durée) a été contrebalancé entre les sujets. L'ensemble de l'Expérience 1 durait approximativement 20 minutes. Pour les passations expérimentales réalisées en laboratoire, les participants étaient assis confortablement dans une pièce silencieuse, et les stimuli étaient présentés via PsyScope X, sur un MacBook Air portable, à l'aide d'un casque Sennheiser HD449. Pour les passations expérimentales réalisées dans les écoles ou à domicile, le matériel était identique, et les enfants étaient assis confortablement dans une pièce isolée des salles de classe, de la cour de récréation ou de toute autre source de bruit. La tâche était précédée d'une phase d'entraînement de deux à quatre essais, pour s'assurer que la consigne soit bien comprise. Au besoin, la phase d'entraînement pouvait être répétée.

3.3 Participants

3.3.1 *Participants NT*

279 (120 filles) enfants, adolescents et adultes, neurotypiques (NT), francophones, âgés de 3 ans 0 à 60 ans 2 (âge moyen = 12 ans 2), ont participé à l'Expérience 1. Parmi ces participants, 6 n'ont pas compris la tâche et n'ont pas été inclus dans les analyses, 265 ont réalisé la tâche dans la condition du pitch de basses fréquences, 268 dans la condition du pitch de hautes fréquences, et 257 dans la condition de durée.

3.3.2 *Participants TSA*

138 (28 filles) enfants, adolescents et adultes, francophones, présentant un trouble du spectre autistique (TSA), âgés de 3 ans 5 à 54 ans 3 (âge moyen : 15 ans 1), ont participé à l'Expérience 1 : 126 (58 syndrome d'Asperger, 60 autisme verbal, et 8 autisme non verbal) dans la condition du pitch pour les basses fréquences, 136 (58 syndrome d'Asperger, 68 autisme verbal, et 10 autisme non verbal) dans la condition du pitch pour les hautes fréquences, et 126 (58 syndrome d'Asperger, 59 autisme verbal, et 9 autisme non verbal) dans la condition de la durée. Les 33 autres participants n'ont soit pas compris la consigne, soit pas voulu participer à cette expérience.

3.3.3 Participants SW

16 (2 filles) enfants, adolescents et adultes, francophones, ayant le syndrome de Williams (SW), âgés de 5 ans 0 à 24 ans 11 (âge moyen : 12 ans 2), ont participé à l'Expérience 1 (16 ont réalisé la tâche de discrimination dans la condition du pitch de basses fréquences, 16 dans la condition du pitch de hautes fréquences, et 15 dans la condition de durée).

3.4 Résultats

Dans les analyses suivantes, nous allons examiner les seuils psychoacoustiques de nos trois groupes de participants (NT, TSA et SW), et nous analyserons comment ces seuils peuvent varier en fonction de l'âge des participants, et, pour les participants TSA, en fonction de leur type d'autisme.

3.4.1 Participants NT

3.4.1.1 Analyse préliminaire des seuils en fonction de l'ordre de présentation

Pour chacune des trois conditions, nous avons réalisé des ANOVAs à mesures répétées avec comme facteur intra-sujets la méthode de calcul à trois modalités (A, B, et C) (voir Partie 3.4.1.3 pour les détails), comme facteur inter-sujets l'ordre de présentation des conditions à trois modalités (première position, deuxième position, et troisième position). Comme la sphéricité des matrices n'était pas vérifiée (pour la durée : W de Mauchly = .44, $p < .0001$; pour le pitch de basses fréquences : W de Mauchly = .52, $p < .0001$; et pour le pitch de hautes fréquences : W de Mauchly = .50, $p < .0001$), nous avons appliqué la correction de Greenhouse-Geisser pour ces ANOVAs ainsi que pour toutes les ANOVAs de ce groupe, le cas échéant. Comme le facteur ordre n'a donné ni effet principal ni interaction significatifs (effets principaux : pour la durée : $F(2, 253) = 2.79$, $p = .06$, $\eta^2_p = .02$; pour les basses fréquences : $F(2, 262) = 0.76$, $p = .47$, $\eta^2_p = .01$, pour les hautes fréquences : $F(2, 264) = 2.40$, $p = .09$, $\eta^2_p = .02$), nous n'avons pas inclus l'ordre de présentation comme facteur dans les analyses suivantes.

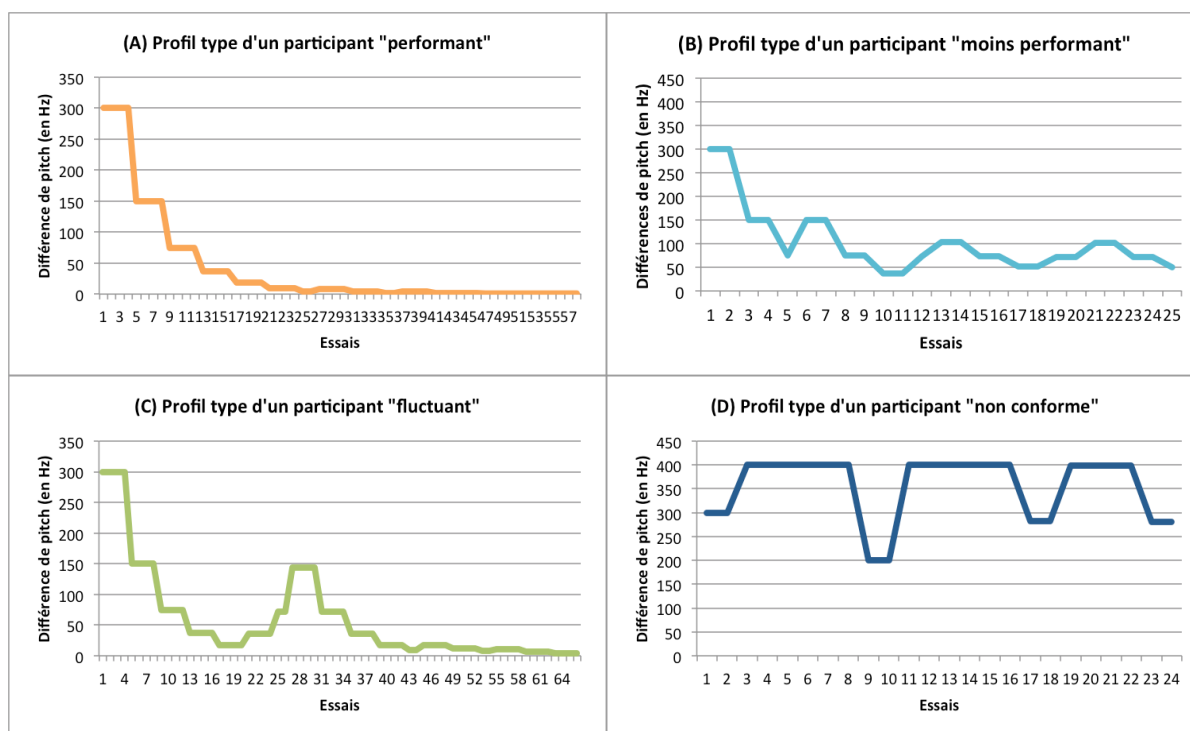
3.4.1.2 Analyse des profils

S'agissant d'une population très hétérogène en termes d'âges, les patterns de réponse observés sont très variables. En s'inspirant des trois profils observés par Moore et al. (2008) ('*good performer*', '*genuine poor performer*' et '*non-compliant*'), nous avons mis en évidence quatre types de comportement durant la tâche : les « performants », les « moins performants », les « fluctuants », et les « non conformes » (Figure 3-3).

- **Les participants « performants »** (correspondant aux '*good performers*') se caractérisent par une succession de bonnes réponses (avec une approche rapide de leur seuil) suivies de peu d'erreurs successives.
- **Les participants « moins performants »** (correspondant aux '*genuine poor performer*') ont un comportement similaire, à cela près qu'ils cumulent moins de bonnes réponses dans les premiers essais, et atteignent alors un seuil plus haut.
- **Les participants « non conformes »** (correspondant aux '*non-compliant*'), sont surtout des enfants, et particulièrement des enfants jeunes ; ils semblent ne pas comprendre la tâche ou perdre la consigne de vue assez rapidement après le premier item test.
- Enfin, nous avons mis en évidence un quatrième groupe de participants : **les participants « fluctuants »**, non mis en évidence par Moore et al. (2008), qui montrent un profil semblable aux deux premiers groupes (« performants » et « moins performants ») en début de tâche, mais semblent avoir des fluctuations attentionnelles leur faisant perdre le fil au cours de la procédure.

Les profils ont été classés manuellement, par une évaluatrice aveugle au but de l'étude, un par un, selon le visuel de la courbe, en respectant les règles suivantes : une courbe descendante linéaire avec un effet plancher était considérée comme un profil « performant », une courbe descendante linéaire sans effet plancher était considérée comme un profil « moins performant », une courbe descendante au début, avec plus de deux valeurs ascendantes consécutives, était considérée comme « fluctuant », et tout ce qui ne ressemblait pas à une courbe de *staircase* (descente en « escaliers ») était considéré comme « non conforme ».

Figure 3-3 : Exemples de performances selon les quatre types de profils (A : « performants » ; B : « moins performants » ; C : « fluctuants » ; D : « non conformes »), pour l'Expérience 1.



Nous pouvons considérer que les profils « performants », « moins performants » et « fluctuants » reflètent, de façon plus ou moins fidèle, le vrai seuil des participants, tandis que le profil « non conforme » n'est pas informatif de la performance réelle des participants. En effet, ces trois profils montrent une descente graduelle (pendant la totalité ou une partie de l'expérience) vers un seuil plus bas que le point de départ, ce qui n'est pas le cas des profils « non conformes ».

Ces quatre comportements sont retrouvés dans les trois conditions (discrimination de la durée, et discrimination du pitch pour les basses fréquences et les hautes fréquences) (Tableau 3-2). Ces données montrent que les tâches de discrimination s'avèrent difficiles pour les plus jeunes participants, mais qu'à partir de 4 ans, les réponses obtenues sont suffisamment fiables. De plus, la tâche de discrimination des basses fréquences semble plus facile que les deux autres, car le nombre de profils « non conformes » est considérablement plus bas et le nombre de profils « performants » est plus élevé dans cette tâche que dans les deux autres. Etant donné que le dispositif expérimental, le protocole et les consignes étaient

les mêmes pour les trois tâches, cette différence n'est attribuable qu'aux stimuli (voir la partie Discussion pour plus de détails sur ce point).

Tableau 3-2 : Répartition des quatre types de profil selon les groupes d'âge des participants NT pour l'Expérience 1 (en gras figurent les pourcentages des types de profils prédominants pour chacune des trois conditions).

	Performant			Moins performant			Fluctuant			Non conforme		
	BF	HF	D	BF	HF	D	BF	HF	D	BF	HF	D
3 ans	0,0%	0,0%	0,0%	23,1%	6,7%	0,0%	30,8%	6,7%	11,1%	46,2%	86,7%	88,9%
4 ans	20,0%	8,7%	0,0%	35,0%	21,7%	10,5%	40,0%	30,4%	52,6%	5,0%	39,1%	36,8%
5 ans	22,7%	0,0%	0,0%	31,8%	14,3%	0,0%	40,9%	33,3%	50,0%	4,5%	52,4%	50,0%
6 ans	43,5%	26,1%	0,0%	34,8%	13,0%	26,1%	17,4%	43,5%	60,9%	4,3%	17,4%	13,0%
7 ans	43,5%	16,7%	0,0%	30,4%	20,8%	26,1%	26,1%	50,0%	52,2%	0,0%	12,5%	21,7%
8 ans	50,0%	30,0%	9,5%	31,8%	60,0%	33,3%	13,6%	10,0%	57,1%	4,5%	0,0%	0,0%
9 ans	52,2%	30,4%	0,0%	34,8%	21,7%	39,1%	8,7%	43,5%	56,5%	4,3%	4,3%	4,3%
10 ans	64,5%	45,2%	12,9%	22,6%	35,5%	32,3%	9,7%	16,1%	48,4%	3,2%	3,2%	6,5%
11-14 ans	90,9%	36,4%	9,1%	9,1%	50,0%	72,7%	0,0%	13,6%	18,2%	0,0%	0,0%	0,0%
15-17 ans	90,9%	72,7%	9,1%	9,1%	27,3%	72,7%	0,0%	0,0%	18,2%	0,0%	0,0%	0,0%
18-30 ans	92,1%	76,3%	18,4%	7,9%	13,2%	39,5%	0,0%	10,5%	42,1%	0,0%	0,0%	0,0%
31-60 ans	94,1%	64,7%	23,5%	5,9%	35,3%	47,1%	0,0%	0,0%	29,4%	0,0%	0,0%	0,0%

Comme le tableau l'indique, beaucoup de participants ont des profils autres que « performant » : il y a beaucoup de variabilité et de bruits dans les données à cause des jeunes enfants. Il est donc important de trouver une manière d'analyser les résultats qui permette de séparer les vrais seuils du « bruit » dû à l'inattention, caractéristique des jeunes participants et des participants atypiques. Les données de l'*adaptive staircase procedure*, avec un nombre restreint d'essais, ne se prêtent pas facilement à l'ajustement de la courbe psychométrique, ce qui aurait permis de calculer la probabilité des erreurs (cf. algorithme Palamedes, Prins & Kingdom, 2009, 2010). Par conséquent, nous avons réalisé d'autres analyses qui permettent de nous approcher du seuil réel, en filtrant, au moins en partie, les bruits. En particulier, nous avons développé deux nouvelles méthodes pour calculer les seuils, que nous validerons avant d'analyser les seuils eux-mêmes. La validation consistera à

montrer que les nouvelles méthodes différencient de façon systématique et sensible les différents profils, et qu'elles aboutissent à des estimations de seuils plus fiables, psychoacoustiquement plus réalistes¹² (en calculant les ratios de Weber, par exemple) et plus proches de ce qui a été observé dans la littérature.

3.4.1.3 Calcul des seuils de discrimination auditive

Afin de déterminer les seuils de discrimination pour chaque condition, nous avons utilisé trois méthodes :

- **Méthode A** : en calculant la moyenne des quatre meilleurs items tests traités et réussis deux fois de façon consécutive (indépendamment des changements de direction ;
- **Méthode B** : en calculant la moyenne des quatre items tests traités lors des quatre meilleurs « changements de direction » (donc échoués ou réussis) ;
- **Méthode C** : en calculant la moyenne des quatre items test traités lors des quatre derniers « changements de direction » (donc échoués ou réussis).

Dans la littérature, et plus particulièrement dans les études psychoacoustiques avec des adultes, la méthode C est largement utilisée¹³ (Aslin, 1989; Banai et al., 2012; Banai & Yuval-Weiss, 2013; C. R. G. Jones et al., 2009; D. R. Moore et al., 2011, 2008). Toutefois, elle ne tient pas compte des fluctuations attentionnelles des participants, liées aux populations que nous testons (jeunes enfants typiques et populations atypiques). Ainsi, étant donnée la variabilité des profils retrouvée chez les enfants de notre étude (plus particulièrement les profils « fluctuants »), il nous paraissait judicieux de calculer leur seuil via la méthode B. En effet, considérer les quatre meilleures valeurs plutôt que les quatre dernières permet de palier aux effets attentionnels liés à la durée de la tâche (toutes conditions confondues). De plus, la méthode A nous donne un indice quant aux meilleures valeurs discriminées, et fournit une information non négligeable sur un éventuel effet plancher.

¹² En effet, lorsque, par exemple, on obtient un seuil de 100 Hz chez un enfant typique, ayant un développement linguistique ordinaire, cette valeur ne peut pas être réaliste. Si le profil n'est pas « performant », le seuil ne peut, par définition, pas être calculé de la façon standard.

¹³ Selon les études, les auteurs utilisent des variantes de la méthode C, en utilisant seulement les deux derniers *reversals* ou, au contraire, en utilisant les six derniers *reversals* (au lieu de quatre).

Les valeurs moyennes des seuils de discrimination diffèrent selon la méthode calcul utilisée, et ce pour chacune des trois conditions (Tableau 3-3).

Tableau 3-3 : Valeurs moyennes et écarts-types des seuils selon la méthode de calcul utilisée (A, B ou C), pour l'ensemble des participants NT de l'Expérience 1 (les valeurs sont données en msec pour la durée, et en Hz pour le pitch).

	Durée (msec)			Pitch (Hz)					
				Basses Fréquences			Hautes Fréquences		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Moyenne	34,74	43,18	54,07	14,65	18,07	21,37	68,49	81,93	105,52
Ecart-type	45,57	50,75	65,90	38,20	42,19	47,66	145,92	154,80	198,70

Afin d'étudier le lien entre les trois méthodes de calcul, nous avons réalisé des analyses de corrélations. Les résultats montrent des corrélations fortes et positives entre les trois méthodes de calcul, pour les trois conditions. Concernant les seuils de discrimination de la durée, les valeurs calculées avec les méthodes A et B sont fortement et positivement corrélées ($r_{AB} = .92$, $p < .0001$), de même pour les méthodes A et C ($r_{AC} = .91$, $p < .0001$), et les méthodes B et C ($r_{BC} = .98$, $p < .0001$). Il en va de même pour les seuils de discrimination du pitch pour les basses fréquences, ($r_{AB} = .97$, $p < .0001$; $r_{AC} = .96$, $p < .0001$; et $r_{BC} = .99$, $p < .0001$), ainsi que pour les hautes fréquences ($r_{AB} = .94$, $p < .0001$; $r_{AC} = .93$, $p < .0001$; et $r_{BC} = .99$, $p < .0001$).

Ces corrélations positives et fortes suggèrent que les deux méthodes que nous avons développées (A et B) sont valides et comparables à la méthode standard (C). Nous verrons plus loin (partie 3.4.1.5) que ces deux méthodes donnent des seuils plus réalistes en ignorant une partie des erreurs dues à l'inattention ou à la mauvaise compréhension de la tâche, et peuvent donc être utilisées, si besoin, pour mieux évaluer les seuils des profils non canoniques.

3.4.1.4 Analyse des seuils en fonction des profils

Afin de vérifier si les nouvelles méthodes de calcul discriminent bien les différents profils et donnent une meilleure approximation des seuils réels chez les participants jeunes et/ou atypiques, nous avons réalisé des ANOVAs à mesures répétées avec comme facteur

intra-sujets la méthode de calcul à trois modalités (A, B et C), et comme facteur inter-sujets le type de profil à quatre modalités (« performant », « moins performant », « fluctuant », et « non conforme »), pour chacune des trois conditions. Si l'analyse ne met en évidence qu'un effet principal de la méthode, cela suggère que les nouvelles méthodes sont simplement moins strictes que la méthode standard, auquel cas, elles ne sont pas très pertinentes. Par contre, si nous observons une interaction entre la méthode et le profil (notamment si les nouvelles méthodes mettent en évidence des seuils plus fins pour les profils non-canoniques, tout en donnant les mêmes résultats que la méthode classique pour les participants les plus performants), cela indique que les nouvelles méthodes permettent effectivement de mieux saisir et de mieux évaluer les spécificités (inattention, mauvaise compréhension de la tâche, fatigabilité, etc.) de nos populations jeunes et/ou atypiques.

1.1.1.1.1 *Durée*

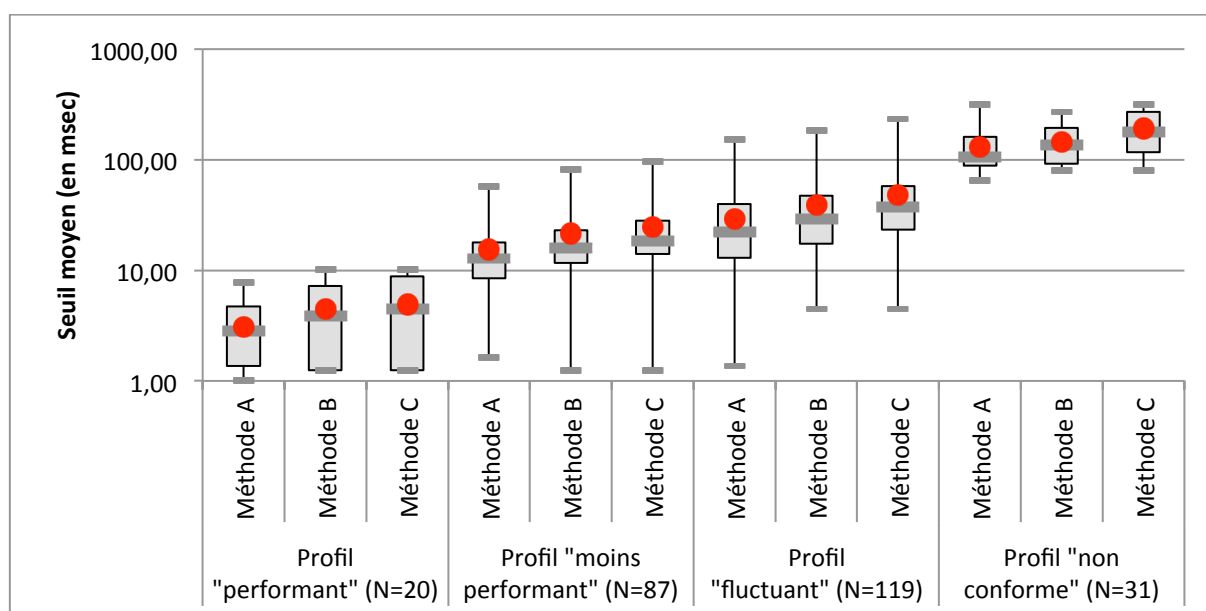
Les résultats révèlent un effet principal de la méthode de calcul ($F(1.32, 253) = 96.61$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .28$) : la méthode A donne des seuils significativement plus bas que les méthodes B (Sidak post-hoc, $p < .0001$) et C (Sidak post-hoc, $p < .0001$), et la méthode B donne des seuils significativement plus bas que la méthode C (Sidak post-hoc, $p < .0001$).

De plus, les résultats révèlent un effet principal du profil ($F(3, 253) = 157.79$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .65$). Les profils « performants » et « moins performants » ont des seuils significativement plus bas (donc plus fins) que les profils « fluctuants » et « non conformes » (Sidak post-hoc, $p < .003$), et les profils « fluctuants » ont des seuils significativement plus bas (et fins) que les profils « non conformes » (Sidak post-hoc, $p < .0001$). Les profils « performants » n'obtiennent pas des seuils significativement plus bas (et fins) que les profils « moins performants » (Sidak post-hoc, $p = .20$).

Enfin, les résultats révèlent une interaction entre la méthode et le profil ($F(3.95, 253) = 30.26$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .26$). Cette interaction est due au fait que, quelle que soit la méthode de calcul utilisée, les seuils des profils « performants » ne sont pas significativement différents. De plus, les seuils des profils « moins performants » sont significativement différents lorsqu'ils sont calculés avec la méthode A par rapport aux méthodes B et C (Sidak post-hoc, $p < .01$), mais ne sont pas significativement différents lorsqu'ils sont calculés avec la méthode B, par rapport à la méthode C. Enfin, les seuils des

profils « fluctuants » et « non conformes » sont significativement différents lorsqu'ils sont calculés avec les trois méthodes (Sidak post-hoc, $p < .0001$) (Figure 3-4).

Figure 3-4 : Boîtes à moustaches représentant la moyenne (en rouge), la médiane, le premier quartile, le troisième quartile, le minimum et le maximum, des seuils de discrimination de la durée (en msec), selon la méthode de calcul utilisée (A, B ou C), en fonction des quatre types de profil (« performant », « moins performant », « fluctuant », et « non conforme »), pour l'ensemble des participants NT de l'Expérience 1.



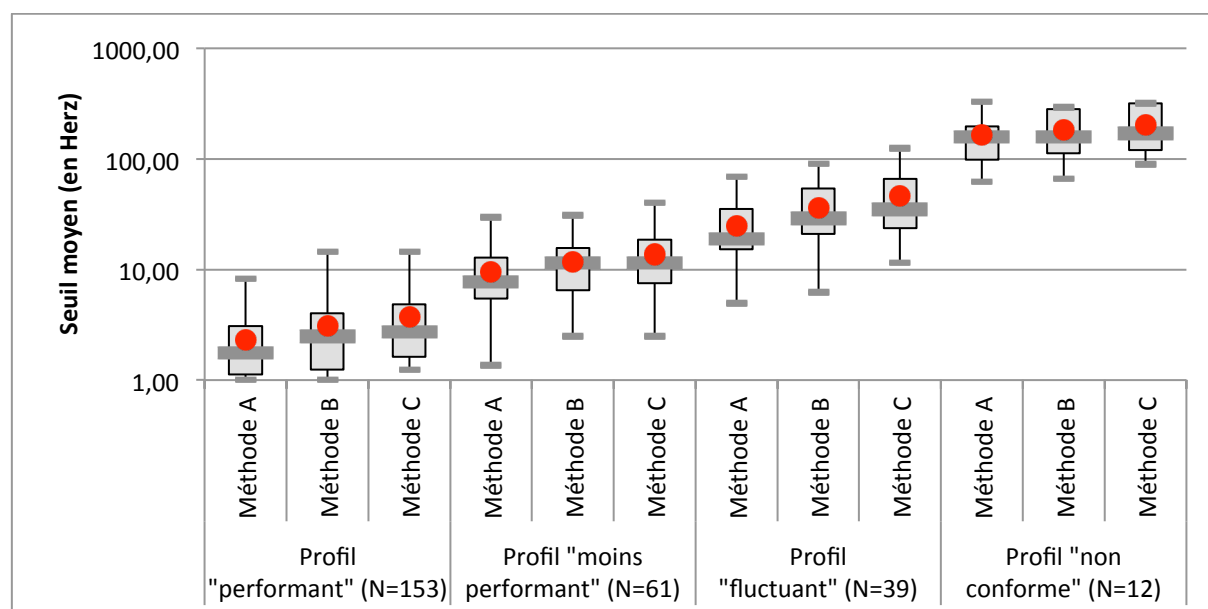
1.1.1.1.2 Basses fréquences

Les résultats révèlent un effet principal de la méthode ($F(1.51, 261) = 158.30$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .38$) : la méthode A donne des seuils significativement plus bas que les méthodes B et C (Sidak post-hoc, $p < .0001$), et la méthode B donne des seuils significativement plus bas que la méthode C (Sidak post-hoc, $p < .0001$).

De plus, les résultats révèlent un effet principal du profil ($F(3, 261) = 343.55$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .80$). Les profils « performants » ont des seuils significativement plus bas (et fins) que les profils « moins performants », « fluctuants » et « non conformes » (Sidak post-hoc, $p < .02$), les profils « moins performants » ont des seuils significativement plus bas (et fins) que les profils « fluctuants » et « non conformes » (Sidak post-hoc, $p < .0001$), et les profils « fluctuants » ont des seuils significativement plus bas (donc plus fins) que les profils « non conformes » (Sidak post-hoc, $p < .0001$).

D'autre part, les résultats révèlent une interaction entre la méthode et le profil ($F(4.53, 261) = 41.17, p < .0001, \eta^2_p = .32$). Cette interaction est due au fait que, quelle que soit la méthode de calcul utilisée, les seuils des profils « performants » ne sont pas significativement différents. De plus, les seuils des profils « moins performants » sont significativement différents lorsqu'ils sont calculés avec la méthode A par rapport à la méthode C (Sidak post-hoc, $p = .03$), mais ne sont pas significativement différents lorsqu'ils sont calculés avec la méthode B, par rapport aux méthodes A et C. Enfin, les seuils des profils « fluctuants » et « non conformes » sont significativement différents lorsqu'ils sont calculés avec les trois méthodes (Sidak post-hoc, $p < .0001$) (Figure 3-5).

Figure 3-5 : Boîtes à moustaches représentant la moyenne (en rouge), la médiane, le premier quartile, le troisième quartile, le minimum et le maximum, des seuils de discrimination du pitch pour les basses fréquences (en Herz), selon la méthode de calcul utilisée (A, B ou C), en fonction des quatre types de profil (« performant », « moins performant », « fluctuant », et « non conforme »), pour l'ensemble des participants NT de l'expérience 1.



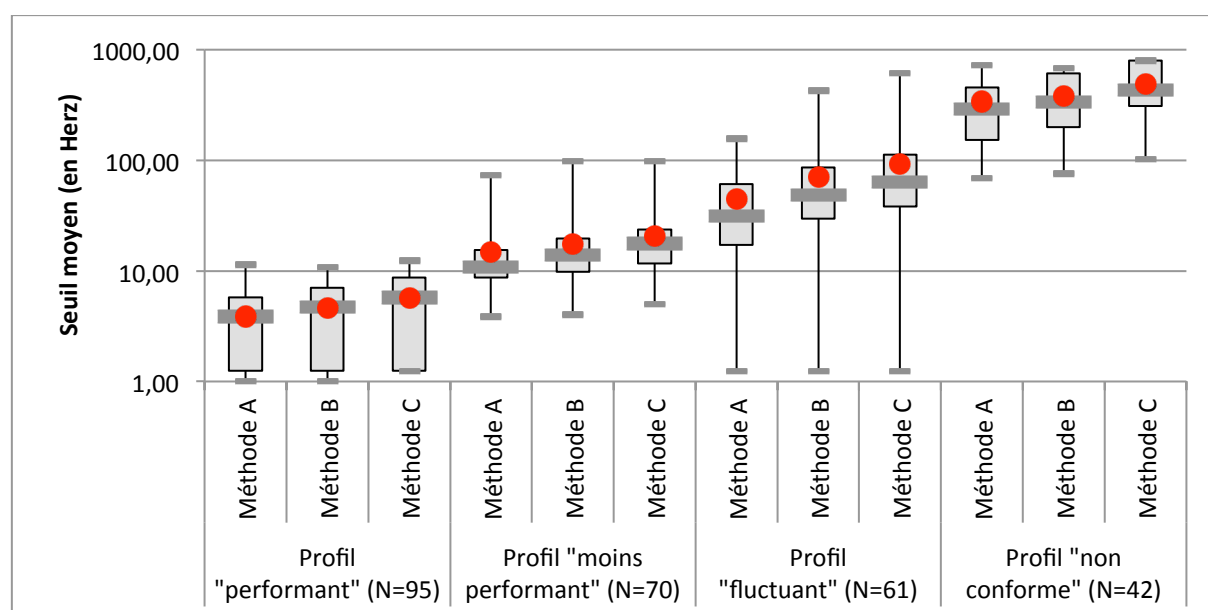
1.1.1.1.3 Hautes fréquences

Les résultats révèlent un effet principal de la méthode ($F(1.36, 264) = 140.58, p < .0001, \eta^2_p = .35$) : la méthode A donne des seuils significativement plus bas (et fins) que les méthodes B et C (Sidak post-hoc, $p < .0001$), et la méthode B donne des seuils significativement plus bas que la méthode C (Sidak post-hoc, $p < .0001$).

De plus, les résultats révèlent un effet principal du profil ($F(3, 264) = 233.17, p < .0001, \eta^2_p = .73$) : les profils « performants » et « moins performants » ont des seuils significativement plus bas (et fins) que les profils « fluctuants » et « non conformes » (Sidak post-hoc, $p < .004$), et les profils « fluctuants » ont des seuils significativement plus bas (et fins) que les profils « non conformes » (Sidak post-hoc, $p < .0001$). Les seuils des profils « performants » ne sont pas significativement plus bas (et fins) que les seuils des profils « moins performants » (Sidak post-hoc, $p = .92$).

Enfin, les résultats révèlent une interaction entre la méthode et le profil ($F(4.07, 264) = 55.65, p < .0001, \eta^2_p = .39$). Cette interaction est due au fait que, quelle que soit la méthode de calcul utilisée, les seuils des profils « performants » et « moins performants » ne sont pas significativement différents. Au contraire, les seuils des profils « fluctuants » et « non conformes » sont significativement différents lorsqu'ils sont calculés avec les trois méthodes (Sidak post-hoc, $p < .0001$) (Figure 3-6).

Figure 3-6 : Boîtes à moustaches représentant la moyenne (en rouge), la médiane, le premier quartile, le troisième quartile, le minimum et le maximum, des seuils de discrimination du pitch pour les hautes fréquences (en Herz), selon la méthode de calcul utilisée (A, B ou C), en fonction des quatre types de profil (« performant », « moins performant », « fluctuant », et « non conforme »), pour l'ensemble des participants NT de l'Expérience 1.



3.4.1.5 Ratios de Weber

Selon la loi de Weber-Fechner, le ratio entre le seuil ΔS du stimulus et la valeur de base S du stimulus est constant sous certaines conditions et pour certaines intervalles du continuum, et défini par k avec $k = \frac{\Delta S}{S}$ (les seuils de discrimination augmentent avec le niveau de base des stimuli à discriminer). Nous avons donc calculé les ratios de Weber de façon à comparer nos valeurs avec celles retrouvées dans la littérature. Pour ce faire, nous avons divisé la valeur du seuil obtenu pour chacun des participants NT, par la valeur de référence (100 msec pour la durée, 100 Hz pour le pitch de basses fréquences, et 1000 Hz pour le pitch de hautes fréquences), pour chacune des trois conditions. Les résultats sont détaillés dans le Tableau 3-3.

Nous savons que la fraction de Weber varie selon la modalité sensorielle (Teghtsoonian, 1971) et peut varier à l'intérieur d'une même modalité : par exemple, à 40 dB, le seuil est aux alentours de 1 Hz pour les fréquences allant de 200 Hz à 400 Hz, soit une fraction de Weber de 0.0025 à 0.005 ; il est de 2 Hz pour une fréquence de 1000 Hz, soit une fraction de Weber de 0.002 ; de 3 Hz pour une fréquence de 2000 Hz, soit une fraction de Weber de .0015 ; de 16 Hz pour une fréquence de 4000 Hz, soit une fraction de Weber de 0.004 ; et de 68 Hz pour une fréquence de 8000 Hz, soit une fraction de Weber de 0.0085 (Gelfand, 2009). Ainsi, $\Delta S/S$ est minimal (0.002) entre 600 Hz et 2000 Hz, et augmente pour des fréquences inférieures ou supérieures à cet intervalle, tout en restant inférieur à 0.01. Cette valeur de 0.01 est d'ailleurs retrouvée par d'autres auteurs pour le pitch (France et al., 2002; Tramo, Shah, & Braida, 2002). Pour ce qui est de la durée, les valeurs des fractions de Weber sont plus grandes que pour le pitch, aux alentours de 0.20 (Tramo et al., 2002).

De ce fait, examiner les ratios de Weber obtenus pour les trois méthodes de calcul déterminées (A, B, et C) nous permet d'une part de comparer les valeurs obtenues pour notre population avec celles retrouvées dans la littérature, et d'autre part de choisir la méthode qui reflète le mieux les seuils réels des participants, en validant une ou plusieurs méthodes de façon indépendante et complémentaire aux profils identifiés. En effet, il est possible que la méthode C soit trop sévère pour les enfants, et fournissent des seuils éloignés de la réalité, car ne tenant pas compte de leurs fluctuations attentionnelles et de leur fatigabilité. De plus, il se peut que la méthode A soit au contraire trop laxiste et

fournisse des seuils en-deçà (et donc meilleurs) des seuils réels, et ce pour toutes les tranches d'âge.

Tableau 3-4 : Ratios de Weber et écart-types pour (a) la durée, (b) le pitch de basses fréquences, et (c) le pitch de hautes fréquences, pour l'ensemble et pour chacun des groupes d'âge des participants NT de l'Expérience 1.

		(a) Durée		
		Méthode A	Méthode B	Méthode C
Tout (N=265)	Moy	0,34745	0,43183	0,54069
	Ety	0,45571	0,50750	0,65905
3 ans (N=13)		1,38514	1,51611	2,08806
		0,87844	0,74502	0,99099
4 ans (N=20)		0,82007	0,96026	1,21105
		0,57338	0,65587	0,82651
5 ans (N=22)		0,56413	0,74388	0,93675
		0,40986	0,54029	0,73430
6 ans (N=23)		0,33832	0,44891	0,57457
		0,26510	0,40568	0,54988
7 ans (N=23)		0,52310	0,61457	0,73554
		0,39837	0,41927	0,49737
8 ans (N=22)		0,27101	0,37488	0,44988
		0,16757	0,26440	0,27507
9 ans (N=23)		0,32837	0,39511	0,44902
		0,63702	0,55505	0,64514
10 ans (N=31)		0,19395	0,27153	0,35274
		0,22807	0,41167	0,57191
11-14 ans (N=22)		0,13216	0,18648	0,20852
		0,07857	0,11126	0,11182
15-17 ans (N=11)		0,13330	0,19864	0,26659
		0,06935	0,17865	0,24304
18-30 ans (N=38)		0,12224	0,14895	0,18289
		0,12087	0,13507	0,15863
31-60 ans (N=17)		0,11037	0,14279	0,18279

	0,11750	0,14040	0,18579
--	---------	---------	---------

		(b) Basses fréquences		
		Méthode A	Méthode B	Méthode C
Tout (N=257)	Moy	0,14647	0,18074	0,21366
	Ety	0,38198	0,42193	0,47663
3 ans (N=9)		0,99154	1,09808	1,17788
		1,00074	1,05225	1,12576
4 ans (N=19)		0,19900	0,26900	0,32513
		0,25254	0,31897	0,37326
5 ans (N=20)		0,19443	0,26432	0,36295
		0,23772	0,33960	0,41552
6 ans (N=23)		0,08543	0,11391	0,14924
		0,12967	0,14234	0,19596
7 ans (N=23)		0,13495	0,16120	0,20967
		0,16072	0,17429	0,24188
8 ans (N=21)		0,16625	0,20898	0,26364
		0,40830	0,49623	0,66538
9 ans (N=23)		0,10250	0,12565	0,13772
		0,18069	0,20458	0,21568
10 ans (N=31)		0,14919	0,19129	0,20911
		0,51659	0,53682	0,57910
11-14 ans (N=22)		0,02278	0,03443	0,03830
		0,03746	0,03981	0,04136
15-17 ans (N=11)		0,02943	0,03591	0,04432
		0,03344	0,03590	0,03628
18-30 ans (N=38)		0,02122	0,02750	0,03178
		0,01437	0,02017	0,02192
31-60 ans (N=17)		0,01926	0,02838	0,03397
		0,01100	0,01487	0,01696

		(c) Hautes fréquences		
		Méthode A	Méthode B	Méthode C
Tout (N=268)	Moy	0,06850	0,08193	0,10552
	Ety	0,14592	0,15480	0,19870
3 ans (N=15)		0,38880	0,38733	0,49820
		0,24129	0,22156	0,28015
4 ans (N=23)		0,13492	0,15836	0,21328
		0,15849	0,17172	0,22761
5 ans (N=21)		0,16949	0,22224	0,28306
		0,19977	0,21558	0,26178
6 ans (N=23)		0,05398	0,08124	0,10486
		0,08074	0,13797	0,18154
7 ans (N=24)		0,06584	0,10011	0,12326
		0,07259	0,12420	0,15649
8 ans (N=20)		0,01328	0,01730	0,02305
		0,01278	0,01927	0,03045
9 ans (N=23)		0,05090	0,05293	0,06780
		0,14459	0,12515	0,16324
10 ans (N=31)		0,03400	0,03277	0,04206
		0,12638	0,10927	0,14228
11-14 ans (N=22)		0,00989	0,01615	0,01908
		0,01518	0,02295	0,02683
15-17 ans (N=11)		0,00530	0,00591	0,00627
		0,00603	0,00671	0,00654
18-30 ans (N=38)		0,00449	0,01184	0,01643
		0,00485	0,04138	0,06159
31-60 ans (N=17)		0,00613	0,00682	0,00875
		0,00364	0,00420	0,00594

Dans notre expérience, les fractions de Weber calculées pour le pitch sont conformes aux valeurs retrouvées dans la littérature chez les adultes, pour les groupes d'âge à partir de 11 ans et pour la durée pour les groupes dès l'âge de 10 ans. En revanche, elles sont

supérieures à 0.01 pour le pitch, et à 0.20 pour la durée chez les enfants d'âges préscolaires et scolaires, illustrant encore une fois l'effet de l'inattention dans ces populations.

Par ailleurs, les fractions sont significativement différentes selon qu'elles soient basées sur la méthode de calcul A, B, ou C (pour la durée : $F(1.05, 11) = 15.67$, $p = .002$, $\eta^2_p = .59$; pour les basses fréquences : $F(1.05, 11) = 16.39$, $p = .002$, $\eta^2_p = .60$; pour les hautes fréquences : $F(1.23, 11) = 9.00$, $p = .007$, $\eta^2_p = .45$) : elles sont significativement plus faibles lorsque les seuils sont calculés avec la méthode A, et significativement plus élevées lorsque les seuils sont calculés avec la méthode C (Sidak post-hoc, $p < .03$), sauf pour le pitch de hautes fréquences. Dans cette condition, seuls les ratios calculés sur la base des méthodes de calcul A et C diffèrent significativement : ils sont significativement plus faibles lorsque les seuils sont calculés avec la méthode A par rapport à la méthode C (Sidak post-hoc, $p = .02$), mais ne diffèrent pas entre les méthodes A et B, ni entre les méthodes B et C (Sidak post-hoc, *NS*). Ainsi, les fractions de Weber calculées sur la base de la méthode A sont plus proches des fractions de Weber retrouvées dans la littérature.

⇒ EN RESUME

Les seuils calculés via la méthode A sont corrélés aux seuils calculés de façon classique (méthode C), et ils permettent une évaluation plus fine que la méthode classique des seuils – en particulier pour les participants jeunes – tout en donnant des résultats similaires pour les participants « performants ». La méthode A n'est donc pas laxiste, et permet de différencier les profils entre eux. De plus, les fractions de Weber calculées selon la méthode A sont plus proches des valeurs déjà publiées. Pour toutes ces raisons, nous avons décidé de garder uniquement la méthode A pour l'ensemble des analyses suivantes.

3.4.1.6 Analyse des seuils en fonction de l'âge

Afin de comparer les valeurs obtenues pour chacun des trois seuils (durée, pitch basses fréquences, et pitch hautes fréquences) selon l'âge, nous avons réalisé des ANOVAs univariées sur la variable dépendante seuil de discrimination auditive, avec comme facteur inter-sujets le groupe d'âge à 12 modalités (3 ans, 4 ans, 5 ans, 6 ans, 7 ans, 8 ans, 9 ans, 10 ans, 11-14 ans, 15-17 ans, 18-30 ans et 31-60 ans), pour chacune des trois conditions. Etant donnée l'hétérogénéité des effectifs garçons/filles, nous avons choisi d'exclure le facteur genre des analyses. Ce choix est par ailleurs motivé par des raisons théoriques : aucune

recherche antérieure n'a montré de différence entre les filles et les garçons dans une tâche de discrimination auditive.

1.1.1.1.4 Durée

Les résultats de cette tâche sont illustrés par la Figure 3-7 ; la Figure 3-8 illustre la variabilité interindividuelle.

Figure 3-7 : Représentation des seuils de discrimination de la durée (moyenne et écart-type), par groupe d'âge, pour l'ensemble des participants NT de l'Expérience 1.

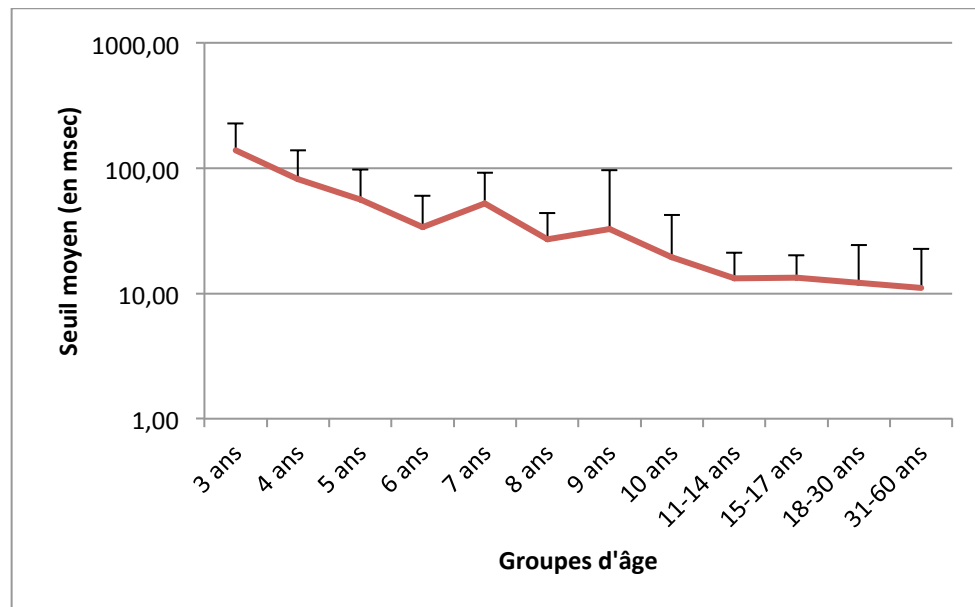
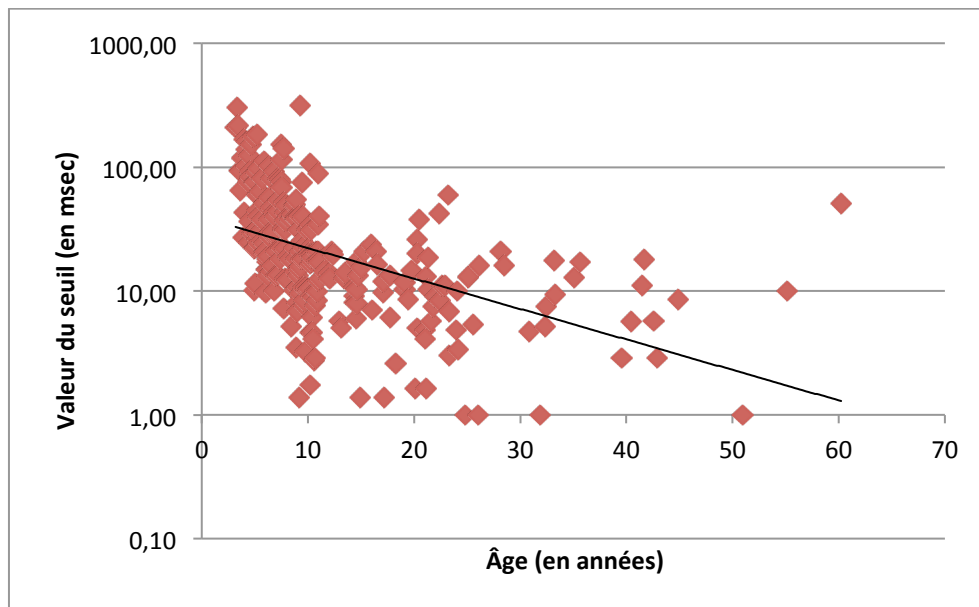


Figure 3-8 : Représentation des seuils de discrimination de la durée pour l'ensemble des participants NT de l'Expérience 1.



Les résultats montrent un effet principal de l'âge ($F(11, 256) = 14.38$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .39$) : les performances du groupe de participants âgés de 3 ans sont significativement plus faibles (seuils plus élevés) que celles de tous les autres groupes d'âge, le groupe de participants âgés de 4 ans montre des performances significativement plus faibles que les groupes de 6 ans et 8 ans et plus, le groupe de participants âgés de 5 ans montre des performances significativement plus faibles que les groupes de 10 à 14 ans, et de 18 ans et plus, le groupe de participants âgés de 7 ans montre des performances significativement plus faibles que les groupes de 11-14 ans, et de 18 ans et plus. A partir de 8 ans, il n'y a pas de différence significative avec les groupes d'âges plus élevés (pour toutes les comparaisons significatives, Sidak post hoc, $p < .03$, Figure 3-7).

1.1.1.1.5 Basses fréquences

Les résultats de cette tâche sont illustrés par la Figure 3-9 ; la Figure 3-10 illustre la variabilité interindividuelle.

Figure 3-9 : Représentation des seuils de discrimination du pitch pour les basses fréquences (moyenne et écart-type), par groupe d'âge, pour l'ensemble des participants NT de l'Expérience 1.

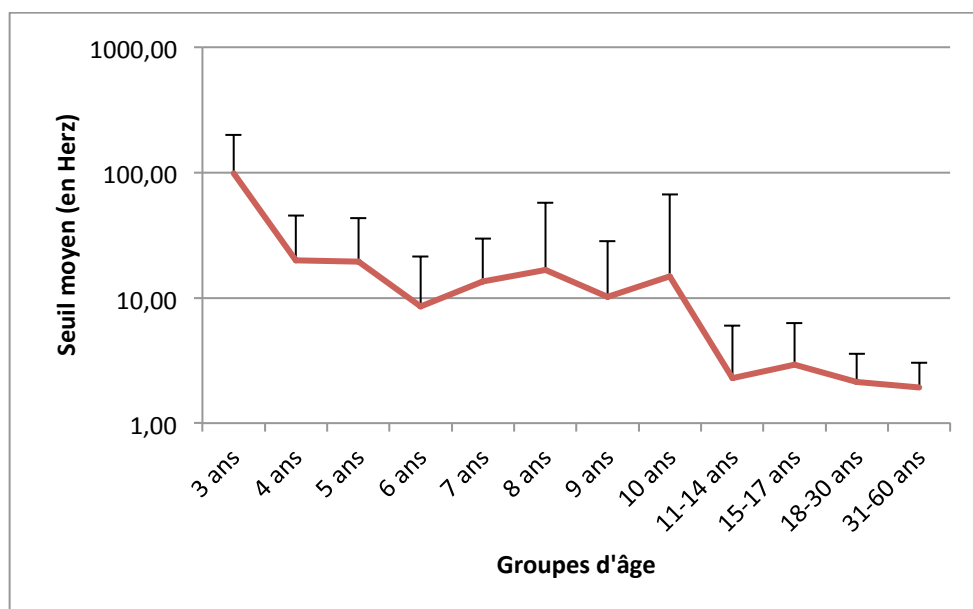
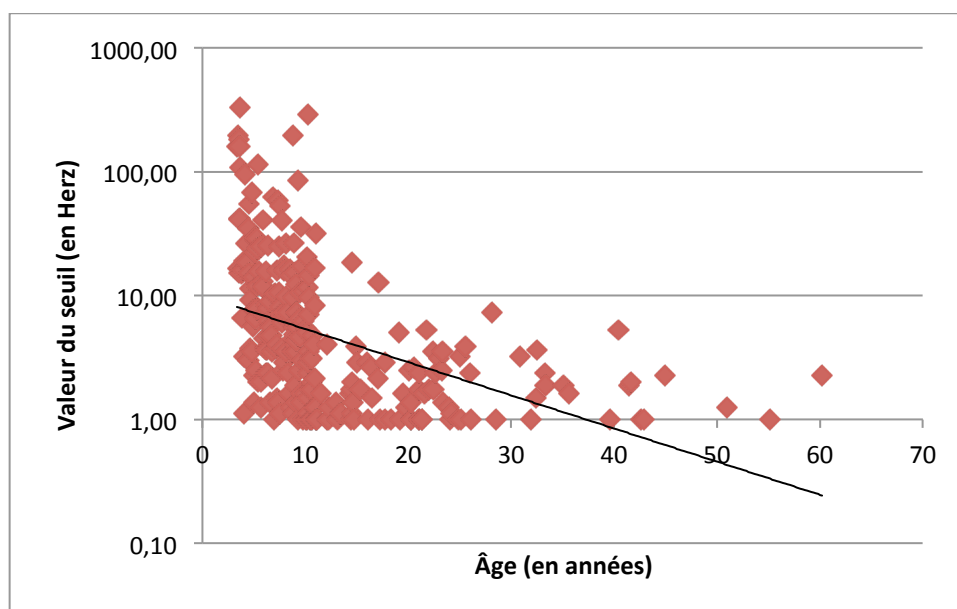


Figure 3-10 : Représentation des seuils de discrimination du pitch pour les basses fréquences, pour l'ensemble des participants NT de l'Expérience 1.



Les résultats montrent un effet principal de l'âge ($F(11, 264) = 9.07, p < .0001, \eta^2_p = .28$) : les performances du groupe de participants âgés de 3 ans sont significativement plus faibles (seuils plus élevés) que celles de tous les autres groupes d'âge, et à partir de 4 ans, il n'y a pas de différence significative avec les groupes d'âges plus élevés (pour toutes les comparaisons significatives, Sidak post-hoc, $p < .0001$, Figure 3-9).

1.1.1.1.6 Discrimination du pitch pour les hautes fréquences

Les résultats de cette tâche sont illustrés par la Figure 3-11 ; la Figure 3-12 illustre la variabilité interindividuelle.

Figure 3-11 : Représentation des seuils de discrimination du pitch pour les hautes fréquences (moyenne et écart-type), par groupe d'âge, pour l'ensemble des participants NT de l'Expérience 1.

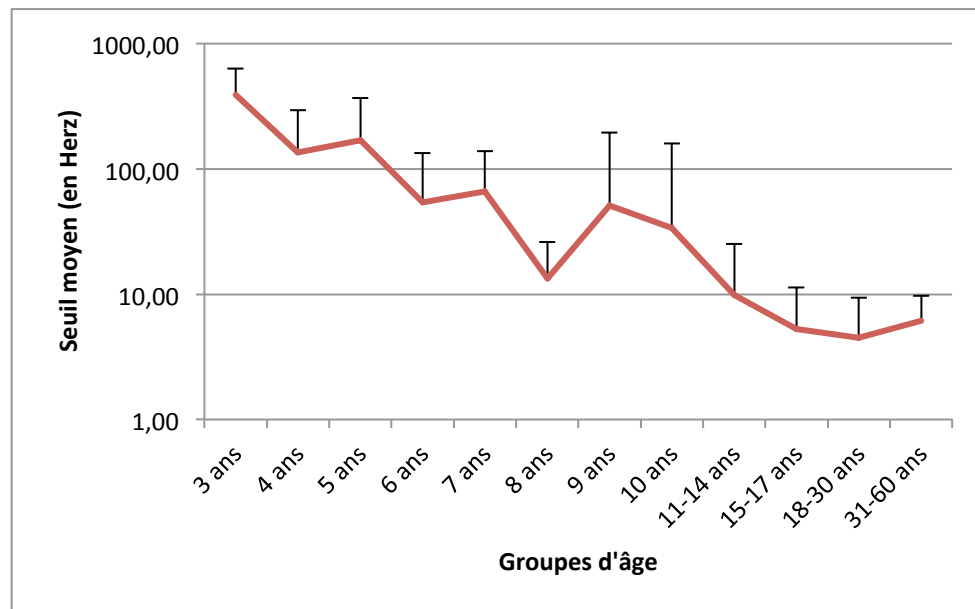
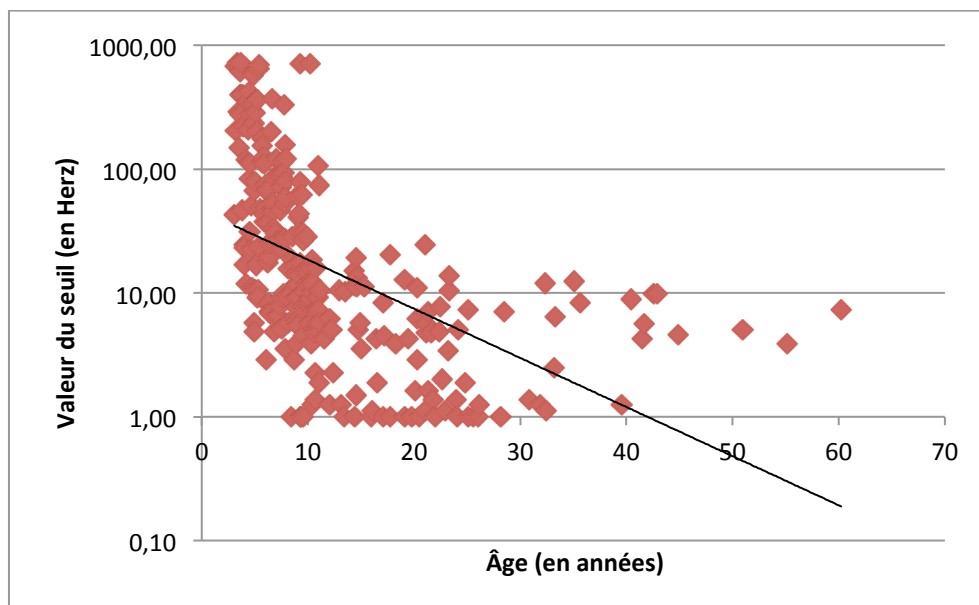


Figure 3-12 : Représentation des seuils de discrimination du pitch pour les hautes fréquences, pour l'ensemble des participants NT de l'Expérience 1.



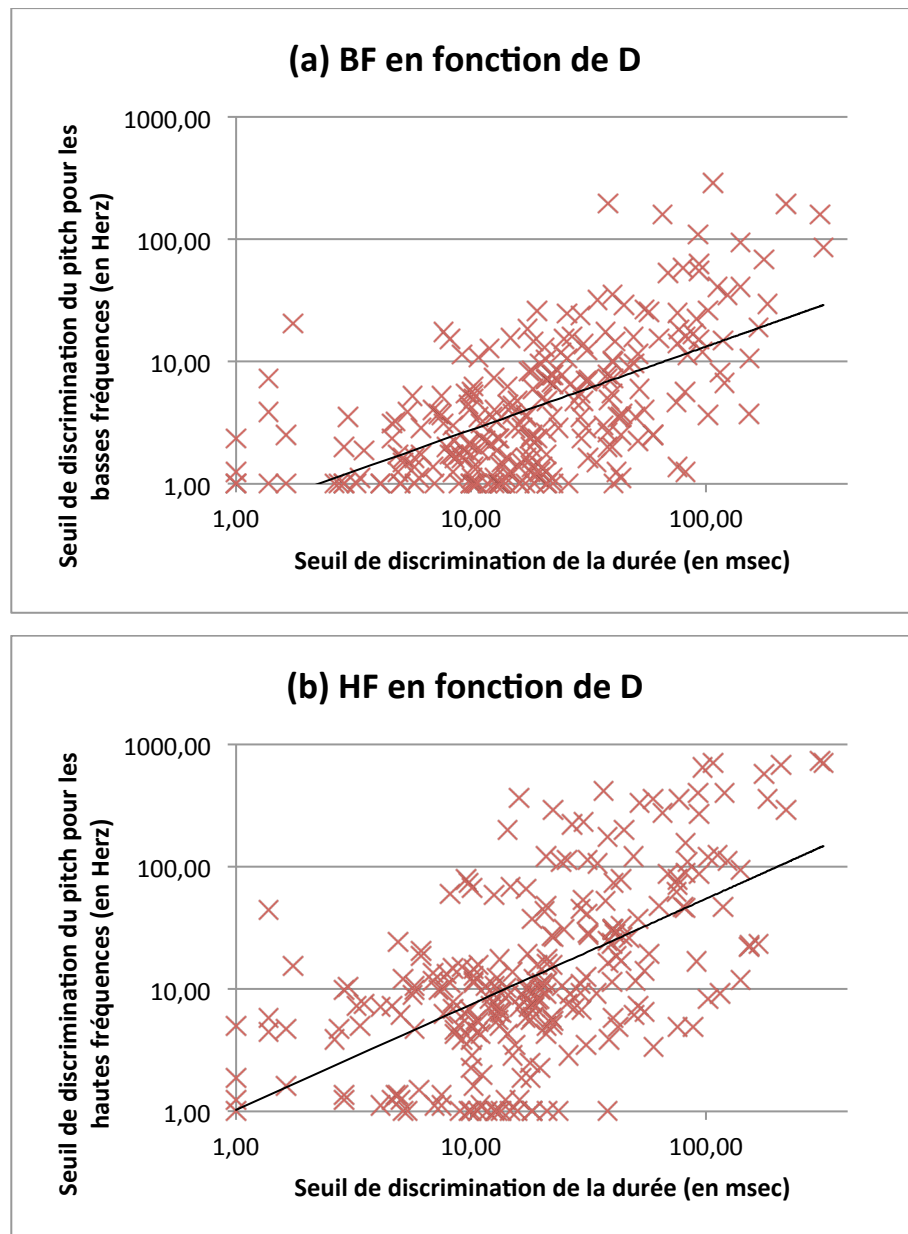
Les résultats montrent un effet principal de l'âge ($F(11, 267) = 15.88, p < .0001, \eta^2_p = .41$) : les performances du groupe de participants âgés de 3 ans sont significativement plus faibles (seuils plus élevés) que celles de tous les autres groupes d'âge, le groupe de participants âgés de 4 ans montre des performances significativement plus faibles que les groupes de 8 ans, 11-14 ans et 18 ans et plus, le groupe de participants âgés de 5 ans montre des performances significativement plus faibles que les groupes de 8 ans et plus. À partir de 6 ans, il n'y a pas de différence significative avec les groupes d'âges plus élevés (pour toutes les comparaisons significatives, Sidak post hoc, $p < .04$, Figure 3-11).

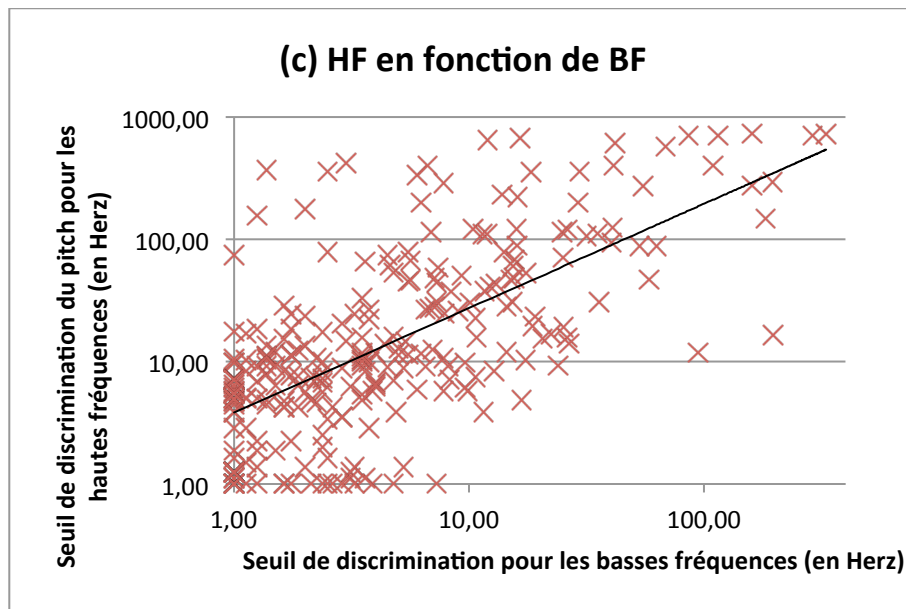
3.4.1.7 Analyse des seuils entre eux

Pour analyser la variabilité interindividuelle et pour comprendre si les résultats dans chacune des trois conditions sont liés, nous avons réalisé des analyses de corrélations.

Les résultats révèlent des corrélations fortes et positives entre les trois seuils : meilleur est le seuil de discrimination de la durée des participants NT, meilleur est leur seuil de discrimination du pitch pour les basses fréquences ($r = .56, p < .0001$) et pour les hautes fréquences ($r = .67, p < .0001$), et réciproquement ; et meilleur est leur seuil de discrimination pour les basses fréquences, meilleur est leur seuil de discrimination pour les hautes fréquences ($r = .61, p < .0001$), et réciproquement (Figure 3-13).

Figure 3-13 : Représentation des seuils de discrimination du pitch (a) pour les basses fréquences en fonction du seuil de discrimination de la durée, (b) pour les hautes fréquences en fonction du seuil de discrimination de la durée, et (c) pour les hautes fréquences en fonction du seuil de discrimination des basses fréquences, pour l'ensemble des participants NT de l'Expérience 1.





⇒ RESULTATS DES PARTICIPANTS NT : RESUME

Dans une tâche psychoacoustique utilisant une procédure adaptative, nous avons montré que, chez les participants NT francophones âgés de 3 à 60 ans, les seuils de discrimination de la durée et du pitch diminuent avec l'âge entre 3 et 8 ans, et atteignent leur niveau adulte (approximativement 10 msec pour la durée, 3 Hz pour les basses fréquences, 10 Hz pour les hautes fréquences) avant l'adolescence. Cette tendance développementale est en accord avec la littérature (Banai & Yuval-Weiss, 2013; Hartley et al., 2000; Maxon & Hochberg, 1982; Moore et al., 2011) et en constitue une extension, car il existe très peu d'études sur les seuils de discrimination des plus jeunes enfants NT (entre 3 et 6 ans), et aucune données sur les enfants français. De plus, nous avons comparés trois méthodes de calcul des seuils (une méthode classique [méthode C], et deux méthodes que nous avons proposées [méthode A et B]), dans le but de déterminer une méthode qui permettrait de mieux distinguer seuil réel et bruit dans les données des plus jeunes participants. La méthode A (qui détermine le seuil en calculant la moyenne des quatre meilleurs items tests traités et réussis deux fois de façon consécutive, indépendamment des changements de direction) semble être la plus appropriée pour les jeunes enfants. Dans la suite, nous continuerons à comparer ces méthodes lors de l'analyse des données des populations TSA et SW.

3.4.2 Participants TSA

3.4.2.1 Analyse des seuils en fonction de l'ordre de présentation

Pour chacune des trois conditions, nous avons réalisé des ANOVAs à mesures répétées avec comme facteur intra-sujets la méthode de calcul à trois modalités (A, B, et C), et comme facteur inter-sujets l'ordre de présentation des conditions à trois modalités (en première position, en deuxième, et en troisième), sur le seuil de discrimination comme variable dépendante. Comme la sphéricité des matrices n'était pas vérifiée (pour la durée : W de Mauchly = .61, $p < .0001$), nous avons appliqué la correction de Greenhouse-Geisser pour cette ANOVA ainsi que pour toutes les ANOVAs de ce groupe le cas échéant. Outre l'effet de la méthode ($F_{durée}(1.44, 123) = 47.66$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .28$; $F_{BF}(1.31, 123) = 22.47$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .15$; $F_{HF}(1.20, 132) = 21.80$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .14$; voir analyses détaillées dans la partie 3.4.2.2) les résultats révèlent un effet principal de l'ordre pour la durée ($F(2, 123) = 12.87$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .17$) et pour le pitch de hautes fréquences ($F(2, 132) = 7.74$, $p = .001$, $\eta^2_p = .11$) : les seuils pour la durée sont significativement plus élevés (moins bons) lorsque cette condition est passée en troisième position, comparativement à lorsque cette condition est passée dans un premier ou dans un second temps (Sidak post hoc, $p < .0002$) ; au contraire, les seuils pour le pitch de hautes fréquences sont plus élevés (moins bons) lorsque cette condition est passée en première position, comparativement à lorsque cette condition est passée dans un second ou dans un troisième temps (Sidak post hoc, $p < .02$). Ceci suggère que, pour le groupe de participants TSA, la condition de la durée est davantage sujette à la fatigue que les deux autres conditions, et que la condition du pitch de hautes fréquences est plus difficile à réaliser que les deux autres conditions.

Par ailleurs, les résultats mettent en évidence une interaction significative entre la méthode et l'ordre de présentation des conditions pour la durée ($F(2.88, 123) = 8.31$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .12$) et le pitch de hautes fréquences ($F(2.40, 132) = 4.00$, $p = .015$, $\eta^2_p = .06$). Pour la durée, cette interaction est due au fait que lorsque cette condition est passée en première position, la méthode de calcul n'a pas d'effet sur la valeur des seuils, alors que quand cette condition est passée en deuxième position, les seuils sont significativement meilleurs lorsqu'ils sont calculés avec la méthode A, comparativement aux méthodes B et C (Sidak post-hoc, $p < .03$). De plus, lorsque cette condition est passée en troisième position, les seuils sont significativement meilleurs lorsqu'ils sont calculés avec la méthode A, comparativement

aux méthodes B et C, et significativement meilleurs lorsqu'ils sont calculés avec la méthode B, comparativement à la méthode C (Sidak post-hoc, $p < .0001$). Pour le pitch de hautes fréquences, lorsque cette condition est passée en première position, les seuils sont significativement meilleurs lorsqu'ils sont calculés avec la méthode A, comparativement aux méthodes B et C, et significativement meilleurs lorsqu'ils sont calculés avec la méthode B, comparativement à la méthode C (Sidak post-hoc, $p < .0001$). De plus, lorsque cette condition est passée en deuxième position, les seuils sont significativement moins bons lorsqu'ils sont calculés avec la méthode C, comparativement aux méthodes A et B (Sidak post-hoc, $p < .02$), mais lorsque cette condition est passée en troisième position, la méthode de calcul n'a pas d'effet sur la valeur des seuils.

3.4.2.2 Analyse des seuils en fonction des profils

Tout comme pour le groupe de participants neurotypiques, l'analyse des profils comportementaux révèle une grande hétérogénéité des performances : les quatre profils (« performant », « moins performant », « fluctuant », et « non conforme ») sont retrouvés dans les trois conditions (durée, pitch de basses fréquences et pitch de hautes fréquences) (Tableau 3-5). Ces données montrent que les tâches de discrimination s'avèrent plus difficiles pour les participants TSA du groupe autisme non verbal, et plus faciles pour les participants TSA du groupe syndrome d'Asperger. Néanmoins, de façon générale, nous avons pu obtenir des profils fiables et exploitables chez un grand nombre de participants TSA, en particulier dans la condition du pitch de basses fréquences. En effet, ici aussi, la tâche de discrimination du pitch pour les basses fréquences semble plus facile que les deux autres, car le nombre de profils « non conformes » est considérablement plus bas et le nombre de profils « performants » est plus élevé dans cette tâche que dans les deux autres. En revanche, la tâche de discrimination du pitch pour les hautes fréquences semble être plus difficile que les deux autres, confirmant les résultats inférés de l'analyse de l'ordre de présentation.

Tableau 3-5 : Répartition des quatre types de profil des participants TSA, en fonction du type d'autisme, pour l'Expérience 11 (en gras figurent les pourcentages des types de profils prédominants pour chacune des trois conditions).

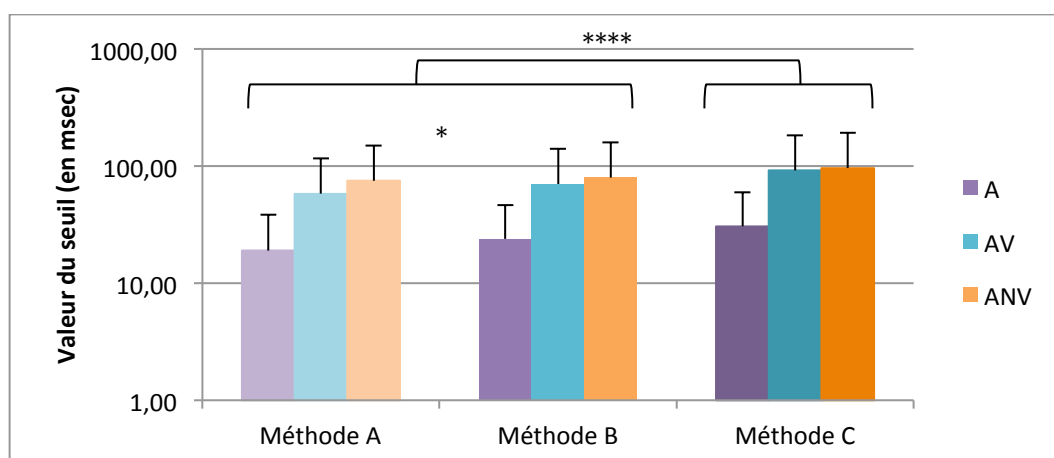
	Performant			Moins performant			Fluctuant			Non conforme		
	BF	HF	D	BF	HF	D	BF	HF	D	BF	HF	D
TSA (tout)	59,8%	15,9%	43,1%	20,5%	17,5%	22,6%	14,2%	48,4%	15,3%	5,5%	18,3%	19,0%
Syndrome d'Asperger	79,3%	24,1%	58,6%	17,2%	19,0%	27,6%	3,4%	50,0%	8,6%	0,0%	6,9%	5,2%
Autisme verbal	45,0%	10,2%	33,8%	23,3%	16,9%	20,6%	25,0%	47,5%	22,1%	6,7%	25,4%	23,5%
Autisme non verbal	33,3%	0,0%	18,2%	22,2%	11,1%	9,1%	11,1%	44,4%	9,1%	33,3%	44,4%	63,6%

Pour évaluer l'effet des profils sur les seuils calculés selon les trois méthodes, nous avons réalisé des ANOVAs à mesures répétées avec comme facteur intra-sujets la méthode de calcul à trois modalités (A, B, et C), et comme facteurs inter-sujets le type de profil à quatre modalités (performant, moins performant, fluctuant, et non conforme) et le type d'autisme à trois modalités (syndrome d'Asperger, autisme verbal, et autisme non verbal), sur la variable dépendante seuil de discrimination, pour chacune des trois conditions. Il est à noter que le groupe autisme non verbal étant relativement petit, les analyses statistiques pour ce groupe manquent forcément de puissance.

1.1.1.1.7 Durée

Les résultats révèlent un effet principal de la méthode ($F(1.32, 115) = 18.09$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .14$) : la méthode C donne des seuils significativement plus hauts (moins bons) que les méthodes A et B (Sidak post-hoc, $p < .0001$), et la méthode A fournit des seuils marginalement meilleurs que la méthode B (Sidak post-hoc, $p = .05$) (Figure 3-14).

Figure 3-14 : Représentation des seuils de discrimination de la durée, en fonction des trois méthodes de calcul (A, B, et C), pour les trois groupes de participants TSA (A) syndrome d'Asperger, (AV) autisme verbal, et (ANV) autisme non verbal, de l'Expérience 1.



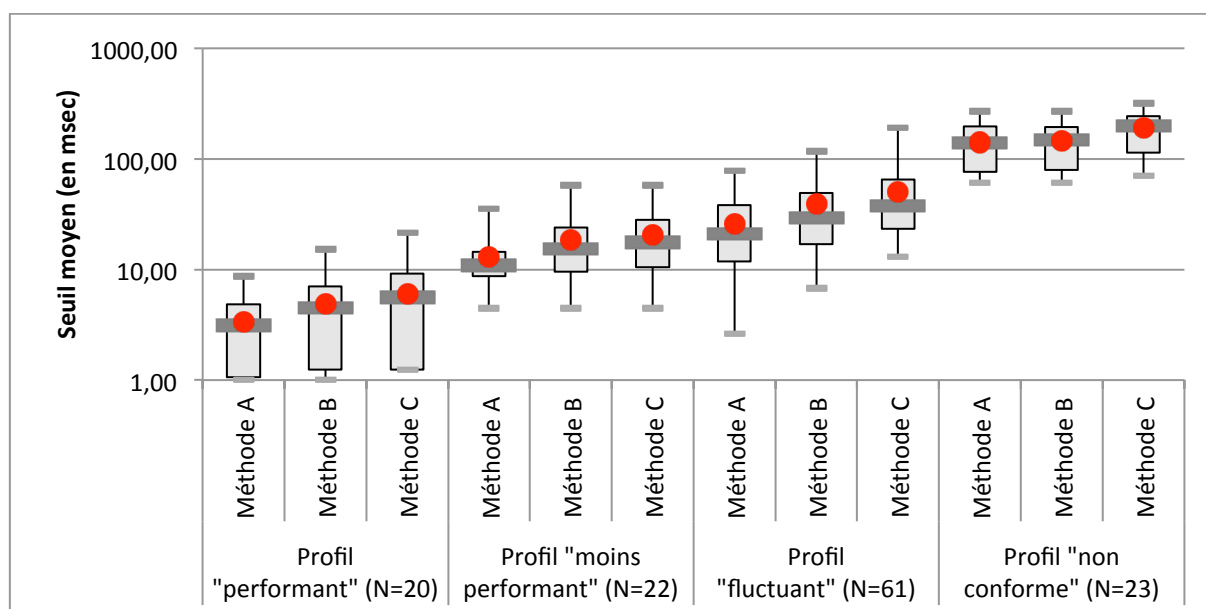
En outre, les résultats révèlent un effet principal du profil ($F(3, 115) = 47.02$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .55$) : les profils « performants » ont des seuils significativement plus bas (et fins) que les profils « fluctuants » et « non conformes » (Sidak post-hoc, $p < .002$), les profils « moins performants » et « fluctuants » ont des seuils significativement plus bas (et fins) que les profils « non conformes » (Sidak post-hoc, $p < .0001$). En revanche, les seuils des profils « performants » ne sont pas significativement différents des seuils des profils « moins performants » (Sidak post-hoc, $p > .25$).

D'autre part, les résultats révèlent un effet principal du type d'autisme ($F(2, 115) = 9.64$, $p = .0001$, $\eta^2_p = .14$) : ceci est dû au fait que les participants TSA du groupe syndrome d'Asperger sont significativement meilleurs (ont des seuils plus bas) que les participants TSA du groupe autisme verbal (Sidak post-hoc, $p < .0001$).

Par ailleurs, les résultats révèlent une interaction entre le profil et le type d'autisme ($F(5, 115) = 5.39$, $p = .0002$, $\eta^2_p = .19$). Cette interaction est due au fait qu'il n'y a pas de profil « performant » dans le groupe de participants TSA autisme non verbal, et que, pour les profils « non conformes », les seuils sont significativement meilleurs pour le groupe syndrome d'Asperger, comparativement aux groupes autisme verbal et autisme non verbal (Sidak post-hoc, $p < .02$), et significativement moins bons pour le groupe autisme verbal comparativement aux groupes syndrome d'Asperger et autisme non verbal (Sidak post-hoc, $p < .05$), alors qu'il n'y a pas de différence significative entre les groupes pour les autres types de profil (Sidak post-hoc, $p > .15$).

De plus, les résultats révèlent une interaction entre la méthode et le profil ($F(3.96, 115) = 7.00$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .15$). Cette interaction est due au fait que, pour les profils « performants » et « moins performants », il n'y a pas de différence entre les seuils selon la méthode de calcul utilisée. De plus, pour les profils « fluctuants », les seuils calculés avec la méthode A sont significativement plus bas que ceux calculés avec les méthodes B et C (Sidak post-hoc, $p < .0001$), et les seuils calculés avec la méthode C sont significativement plus élevés que ceux calculés avec les méthodes A et B (Sidak post-hoc, $p < .0001$). Enfin, pour les profils « non conformes », les seuils calculés avec la méthode C sont significativement plus élevés que ceux calculés avec les méthodes A et B (Sidak post-hoc, $p < .0001$) (Figure 3-15).

Figure 3-15 : Boîtes à moustaches représentant la moyenne (en rouge), la médiane, le premier quartile, le troisième quartile, le minimum et le maximum, des seuils de discrimination de la durée (en msec), selon la méthode de calcul utilisée (A, B ou C), en fonction des quatre types de profil (« performant », « moins performant », « fluctuant », et « non conforme »), pour l'ensemble des participants TSA de l'Expérience 1.



Enfin, les résultats révèlent une interaction entre la méthode et le type d'autisme ($F(2.64, 115) = 3.44$, $p = .02$, $\eta^2_p = .06$). Cette interaction est due au fait qu'il n'y a pas de différence entre les seuils selon qu'ils soient calculés avec les méthodes A, B, ou C pour les participants autisme non verbal. En revanche, pour les participants autisme verbal, les seuils sont significativement meilleurs lorsqu'ils sont calculés avec la méthode A comparativement

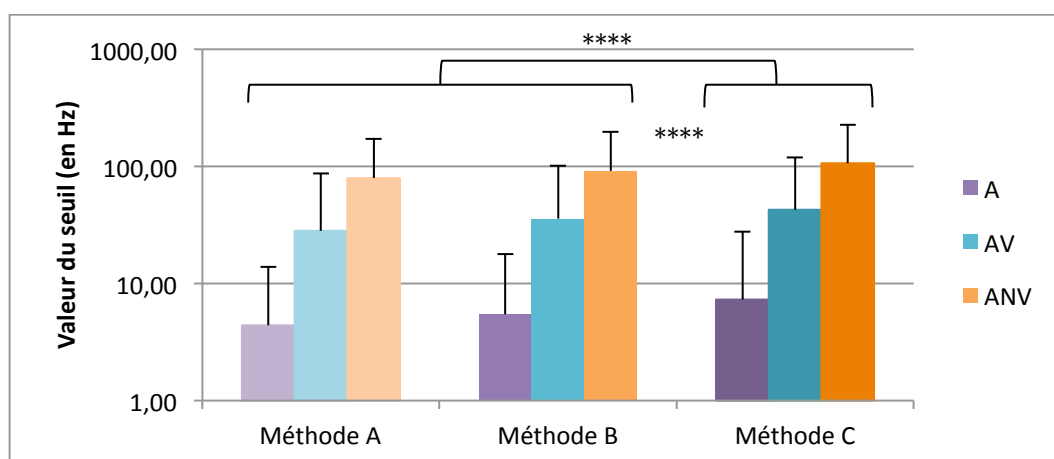
aux méthode B et C (Sidak post-hoc, $p < .003$), et significativement moins bons lorsqu'ils sont calculés avec la méthode C comparativement aux méthodes A et B (Sidak post-hoc, $p < .003$). Pour ce qui est du groupe syndrome d'Asperger, la seule différence réside dans le fait que les seuils sont significativement moins bons lorsqu'ils sont calculés avec la méthode C comparativement aux méthodes A et B (Sidak post-hoc, $p < .01$).

Les résultats révèlent une triple interaction marginale entre la méthode, le profil et le type ($F(6.61, 115) = 1.98$, $p = .07$, $\eta^2_p = .08$) due aux patterns déjà révélés par les doubles interactions.

1.1.1.1.8 Basses fréquences

Les résultats révèlent un effet principal de la méthode ($F(1.56, 115) = 92.86$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .45$) : la méthode A fournit des seuils significativement plus bas (et fins) que les méthodes B et C (Sidak post-hoc, $p < .0001$), et la méthode B donne des seuils significativement meilleurs que la méthode C (Sidak post-hoc, $p < .0001$) (Figure 3-16).

Figure 3-16 : Représentation des seuils de discrimination du pitch pour les basses fréquences, en fonction des trois méthodes de calcul (A, B, et C), pour les trois groupes de participants TSA (A) syndrome d'Asperger, (AV) autisme verbal, et (ANV) autisme non verbal, de l'Expérience 1.

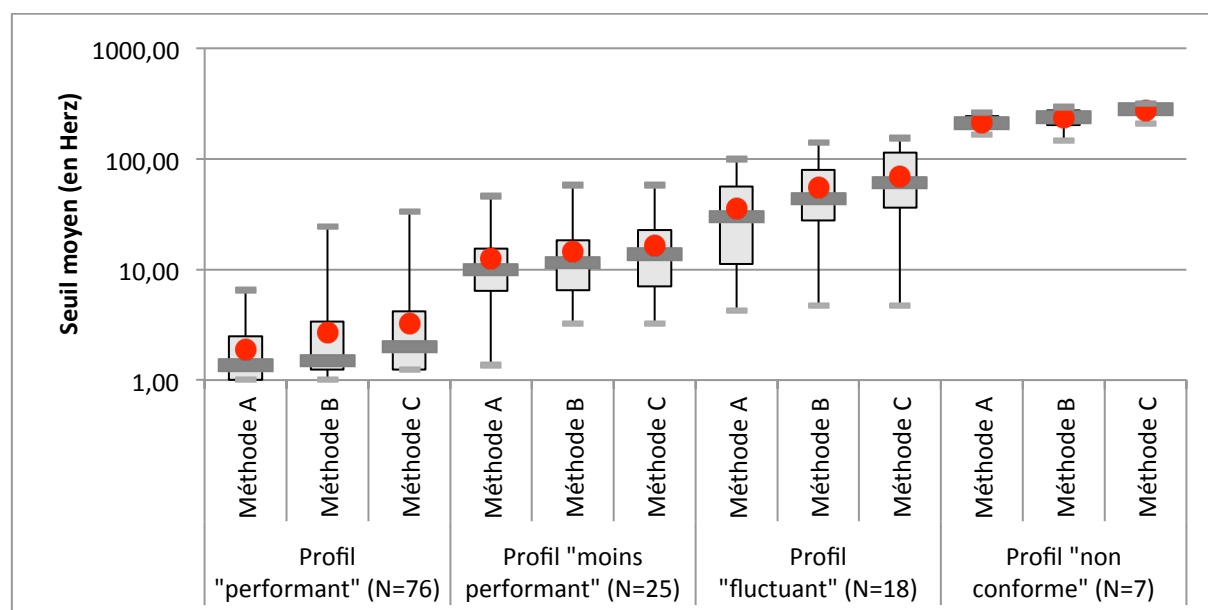


De plus, les résultats révèlent un effet principal du profil ($F(3, 115) = 356.09$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .90$). Les profils « performants » et « moins performants » ont des seuils significativement plus bas (et fins) que les profils « fluctuants » et « non conformes » (Sidak post-hoc, $p < .0001$), et les profils « fluctuants » ont des seuils significativement plus bas (et fins) que les profils « non conformes » (Sidak post-hoc, $p < .0001$).

D'autre part, les résultats révèlent une interaction entre le profil et le type ($F(5, 115)= 2.67$, $p= .03$, $\eta^2_p= .10$). Cette interaction est due au fait qu'il n'y a pas de profil « non conforme » dans le groupe syndrome d'Asperger, et que, pour les profils « non conformes », les seuils sont significativement moins bons pour le groupe autisme verbal comparativement au groupe autisme non verbal (Sidak post-hoc, $p< .0001$), alors qu'il n'y a pas de différence significative entre les groupes pour les autres profils (Sidak post-hoc, $p> .71$).

Par ailleurs, les résultats révèlent une interaction entre la méthode et le profil ($F(4.67, 115)= 31.20$, $p< .0001$, $\eta^2_p= .45$). Cette interaction est due au fait que, quelle que soit la méthode de calcul utilisée, les seuils ne sont pas significativement différents pour les profils « performants » et « moins performants ». *A contrario*, pour les profils « fluctuants » et « non conformes », la méthode A fournit des seuils de discrimination significativement plus bas (et fins) que les méthodes B et C (Sidak post-hoc, $p< .0001$), et la méthode B fournit des seuils significativement plus bas (et fins) que la méthode C (Sidak post-hoc, $p< .0001$) (Figure 3-17). Aucun autre effet ni interaction n'atteint la significativité.

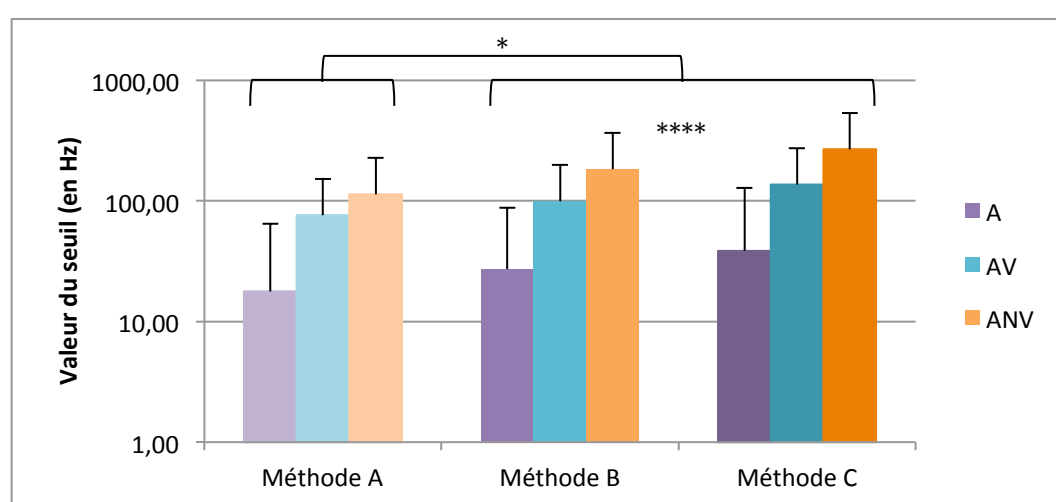
Figure 3-17 : Boîtes à moustaches représentant la moyenne (en rouge), la médiane, le premier quartile, le troisième quartile, le minimum et le maximum, des seuils de discrimination du pitch pour les basses fréquences (en Herz), selon la méthode de calcul utilisée (A, B ou C), en fonction des quatre types de profil (« performant », « moins performant », « fluctuant », et « non conforme »), pour l'ensemble des participants TSA de l'Expérience 1.



1.1.1.1.9 Hautes fréquences

Les résultats révèlent un effet principal de la méthode ($F(1.17, 124) = 18.09$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .13$) : la méthode A fournit des seuils significativement plus bas (et fins) que les méthodes B et C (Sidak post-hoc, $p < .02$), et la méthode B donne des seuils significativement meilleurs que la méthode C (Sidak post-hoc, $p < .0001$) (Figure 3-18).

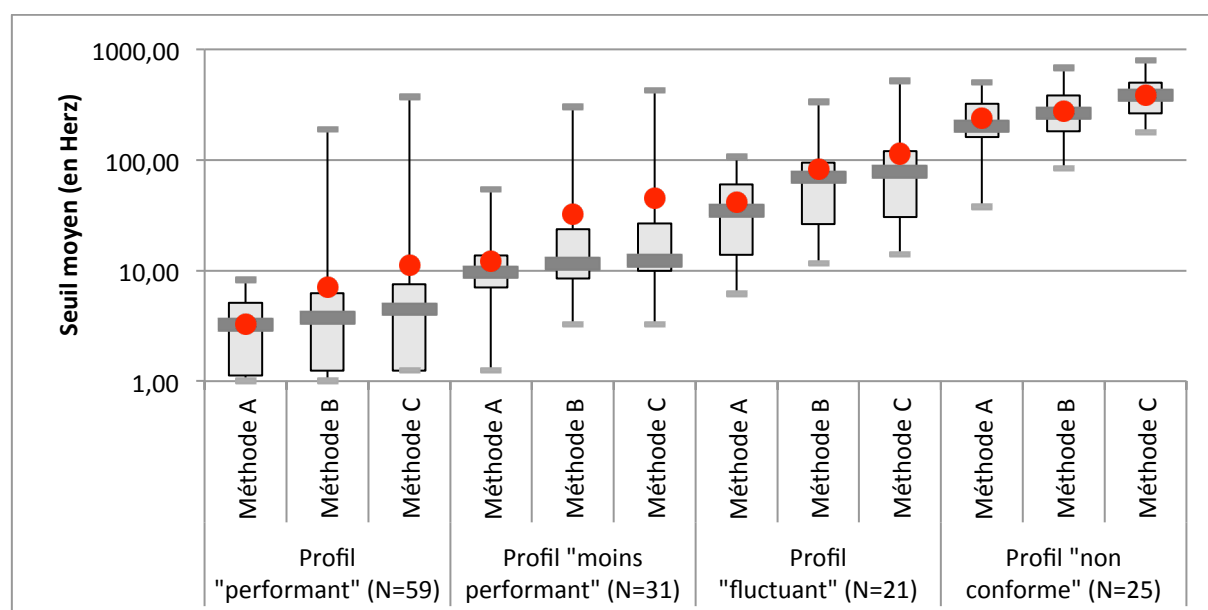
Figure 3-18 : Représentation des seuils de discrimination du pitch pour les hautes fréquences, en fonction des trois méthodes de calcul (A, B, et C), pour les trois groupes de participants TSA (A) syndrome d'Asperger, (AV) autisme verbal, et (ANV) autisme non verbal, de l'Expérience 1.



Par ailleurs, les résultats révèlent un effet principal du profil ($F(3, 124) = 50.60$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .55$) : les profils « non conformes » ont des seuils significativement plus haut (moins bons) que les profils « performants », « moins performants », et « fluctuants » (Sidak post-hoc, $p < .0001$).

De plus, les résultats révèlent une interaction entre la méthode et le profil ($F(3.51, 124) = 9.57$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .19$). Cette interaction est due au fait que, quelle que soit la méthode de calcul utilisée, les seuils ne sont pas significativement différents pour les profils « performants », « moins performants », et « fluctuants ». *A contrario*, pour les profils « non conformes », la méthode A fournit des seuils de discrimination significativement plus bas (et fins) que les méthodes B et C (Sidak post-hoc, $p < .001$), et la méthode B fournit des seuils significativement plus bas (et fins) que la méthode C (Sidak post-hoc, $p < .0001$) (Figure 3-19). Aucun autre effet ni interaction n'atteint la significativité.

Figure 3-19 : Boîtes à moustaches représentant la moyenne (en rouge), la médiane, le premier quartile, le troisième quartile, le minimum et le maximum, des seuils de discrimination du pitch pour les hautes fréquences (en Herz), selon la méthode de calcul utilisée (A, B ou C), en fonction des quatre types de profil (« performant », « moins performant », « fluctuant », et « non conforme »), pour l'ensemble des participants TSA de l'Expérience 1.



Ces analyses confirment que, comme pour le groupe de participants NT, la méthode A permet également de mieux dissocier seuil réel et variabilité chez les participants TSA. En effet, pour les profils comportementaux attendus (« performant » et « moins performant »), les trois méthodes de calcul ne donnent pas des seuils significativement différents. Ainsi, si le participant se comporte de manière typique, les deux nouvelles méthodes proposées (A et B) ne sont pas nécessaires. Toutefois, la méthode A fournit des seuils significativement plus bas que les méthodes B et C pour les profils « fluctuants » dans les conditions de durée et de pitch de basses fréquences, et pour les profils « non conformes » dans les trois conditions, suggérant que, pour les participants se comportant de manière atypique dans cette expérience, la méthode A pourrait corriger les facteurs influençant la performance (tels que l'attention ou la concentration).

3.4.2.3 Ratio de Weber

Nous avons calculé les ratios de Weber en divisant la valeur du seuil obtenu pour chacun des participants TSA, par la valeur de référence (100 msec pour la durée, 100 Hz pour

le pitch de basses fréquences, et 1000 Hz pour le pitch de hautes fréquences), pour chacune des trois conditions. Les résultats sont détaillés dans le Tableau 3-6.

Tableau 3-6 : Ratios de Weber et écart-types pour (a) la durée, (b) le pitch de basses fréquences, et (c) le pitch de hautes fréquences, pour l'ensemble et pour chacun des sous-groupes des participants TSA de l'Expérience 1.

		(a) Durée		
		Méthode A	Méthode B	Méthode C
Tout (N=126)	Moy	0,41235	0,49681	0,63996
	Ety	0,57998	0,59210	0,77822
Syndrome d'Asperger (N=58)		0,19022	0,23914	0,30547
		0,19493	0,22552	0,29233
Autisme verbal (N=59)		0,57913	0,70403	0,92000
		0,72350	0,71674	0,96025
Autisme non verbal (N=9)		0,75056	0,79889	0,95972
		0,70607	0,70028	0,81518

		(b) Basses fréquences		
		Méthode A	Méthode B	Méthode C
Tout (N=126)	Moy	0,20504	0,25369	0,30444
	Ety	0,50061	0,57071	0,66734
Syndrome d'Asperger (N=58)		0,04388	0,05444	0,07293
		0,09488	0,12432	0,20591
Autisme verbal (N=60)		0,28213	0,35792	0,42683
		0,58616	0,65763	0,76269
Autisme non verbal (N=8)		0,79531	0,91656	1,06500
		0,91743	1,05881	1,21275

		(c) Hautes fréquences		
		Méthode A	Méthode B	Méthode C
Tout (N=136)	Moy	0,05401	0,07479	0,10451
	Ety	0,10115	0,12692	0,17373
Syndrome d'Asperger (N=58)		0,01778	0,02726	0,03853
		0,04654	0,06045	0,08935
Autisme verbal (N=68)		0,07618	0,09932	0,13669
		0,12083	0,13521	0,18864
Autisme non verbal (N=10)		0,11338	0,18363	0,26833
		0,12241	0,22389	0,26747

Tout comme pour les participants NT, les fractions de Weber calculées pour le pitch sont parfois bien supérieures à 0.01, et celles calculées pour la durée sont parfois bien supérieures à 0.20 ; c'est notamment le cas pour les sous-groupes autisme verbal et autisme non verbal (entre .58 et .96 pour la durée, entre .28 et 1.07 pour les basses fréquences, et entre .08 et .27 pour les hautes fréquences). De plus, tout comme pour les participants NT, les fractions sont significativement différentes selon qu'elles soient basées sur la méthode de calcul A, B, ou C (pour la durée : $F(1.39, 125) = 56.44$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .31$; pour les basses fréquences : $F(1.30, 125) = 24.11$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .16$; pour les hautes fréquences : $F(1.20, 135) = 29.27$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .18$) : elles sont significativement plus faibles lorsque les seuils sont calculés avec la méthode A, et significativement plus élevées lorsque les seuils sont calculés avec la méthode C (Sidak post-hoc, $p < .0001$), et ce pour les trois conditions.

Ainsi, les fractions de Weber calculées sur la base de la méthode A sont plus proches des fractions de Weber retrouvées dans la littérature pour la population typique. Aucune recherche antérieure ne mentionne les ratios de Weber pour la population TSA. Une équipe s'est intéressée aux fractions de Weber dans le cas de la dyslexie (trouble de l'acquisition du langage écrit), et a mis en évidence des ratios supérieurs comparativement à la population typique contrôle, de l'ordre de 0.03 pour le pitch (France et al., 2002). Toutefois, même en prenant cette valeur comme référence, les ratios observés dans notre population TSA sont bien supérieurs à 0.03 pour le pitch pour les deux sous-groupes autisme verbal et autisme non verbal (ce n'est effectivement pas le cas pour le groupe syndrome d'Asperger, pour lequel les méthodes B et C semblent davantage conforme à cette valeur, bien que les

individus ayant le syndrome d'Asperger soient supposés ne pas avoir de développement atypique du langage). De ce fait, et étant données les inférences des analyses des seuils en fonction des profils, nous avons décidé de garder uniquement la méthode A pour l'ensemble des analyses suivantes.

3.4.2.4 Analyse des seuils en fonction de l'âge et du type d'autisme

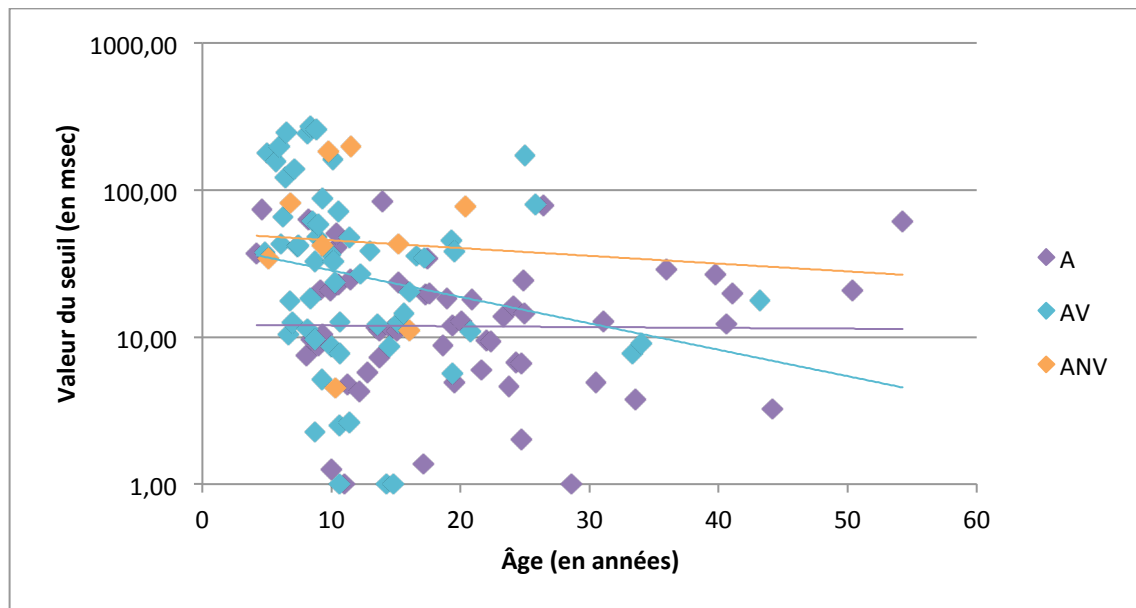
Nous avons réalisé des ANOVAs univariées avec comme facteur inter-sujets le type d'autisme à trois modalités (syndrome d'Asperger, autisme verbal, et autisme non verbal), sur la variable dépendante seuil de discrimination, pour chacune des trois conditions. Il n'était pas possible de réaliser des ANOVAs avec le groupe d'âge comme facteur inter-sujets car, pour certains groupes, les effectifs auraient été trop petits. Nous avons donc décidé d'utiliser l'âge comme variable continue et de réaliser des analyses de régression afin de déterminer la contribution éventuelle de l'âge sur les seuils de discrimination des participants TSA. Pour chacune des trois conditions, nous avons donc réalisé une régression linéaire simple, avec le seuil de discrimination comme variable dépendante, et l'âge comme prédicteur, pour l'ensemble des participants TSA, ainsi que pour chacun des trois groupes (syndrome d'Asperger, autisme verbal, et autisme non verbal).

1.1.1.1.10 Durée

Les résultats montrent un effet principal du type d'autisme ($F(2, 125) = 9.32, p = .0002, \eta^2_p = .13$) : les seuils de discrimination de la durée pour le groupe syndrome d'Asperger sont significativement plus bas (et fins) que les seuils des groupes autisme verbal et autisme non verbal (Sidak post-hoc, $p < .01$).

Par ailleurs, tous types d'autisme confondus, l'âge explique une part moyenne ($R^2 = 7\%$) et significative de la variance de la valeur des seuils de discrimination de la durée ($F(1, 124) = 8.92, p = .003$). Toutefois, les régressions linéaires réalisées en filtrant la variable type pour chacune de ses trois modalités révèlent que ces régressions ne sont significatives que pour le groupe autisme verbal. Par contre, si l'on considère chaque type d'autisme individuellement, l'âge ne semble pas expliquer la variance de la valeur des seuils de discrimination de la durée pour les groupes syndrome d'Asperger et autisme non verbal (Figure 3-20).

Figure 3-20 : Représentation des seuils de discrimination de la durée (en msec), en fonction de l'âge des participants TSA, pour chacun des trois groupes (A) syndrome d'Asperger, (AV) autisme verbal, et (ANV) autisme non verbal, pour l'Expérience 1.

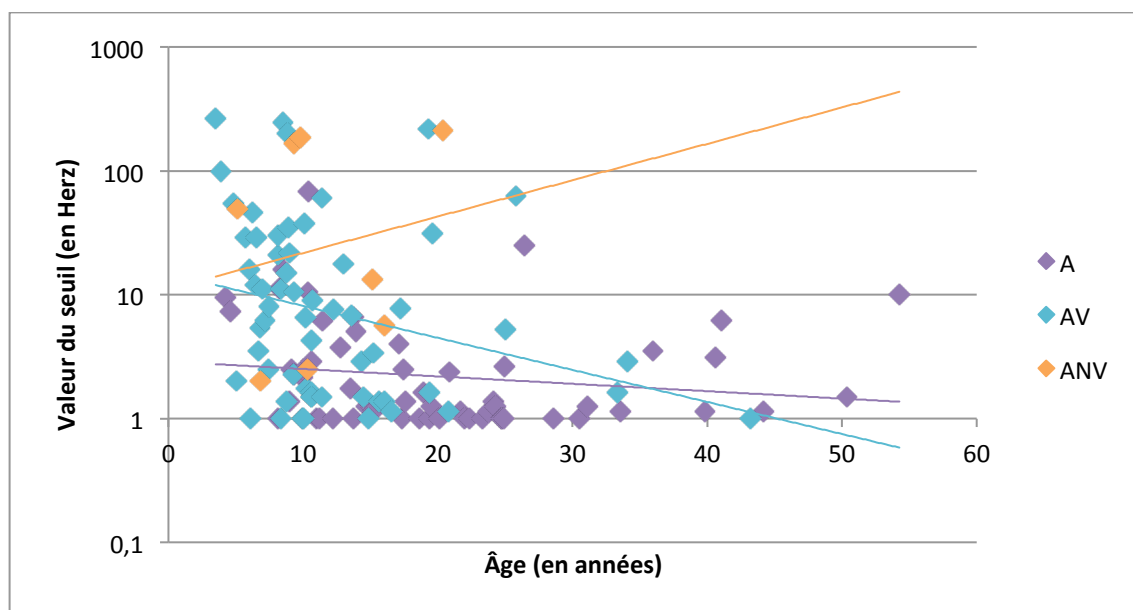


1.1.1.1.11 Basses fréquences

Les résultats montrent un effet principal du type d'autisme ($F(2, 125) = 10.72$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .15$) : les seuils de discrimination du pitch de basses fréquences pour le groupe syndrome d'Asperger sont significativement plus bas (et fins) que les seuils des groupes autisme verbal et autisme non verbal (Sidak post-hoc, $p < .02$), et le groupe autisme verbal a des seuils significativement plus bas (et fin) que le groupe autisme non verbal (Sidak post-hoc, $p = .01$).

Par ailleurs, tous types d'autisme confondus, l'âge explique une part faible ($R^2 = 3\%$) mais significative de la variance de la valeur des seuils de discrimination du pitch pour les basses fréquences ($F(1, 124) = 4.31$, $p = .04$). Toutefois, les régressions linéaires réalisées en filtrant la variable type pour chacune de ses trois modalités ne révèlent aucune régression significative : chaque type d'autisme considéré individuellement, l'âge ne semble pas expliquer la variance de la valeur des seuils de discrimination du pitch pour les basses fréquences (Figure 3-21).

Figure 3-21 : Représentation des seuils de discrimination du pitch pour les basses fréquences (en Herz), en fonction de l'âge des participants TSA, pour chacun des trois groupes (A) syndrome d'Asperger, (AV) autisme verbal, et (ANV) autisme non verbal, pour l'Expérience 1.

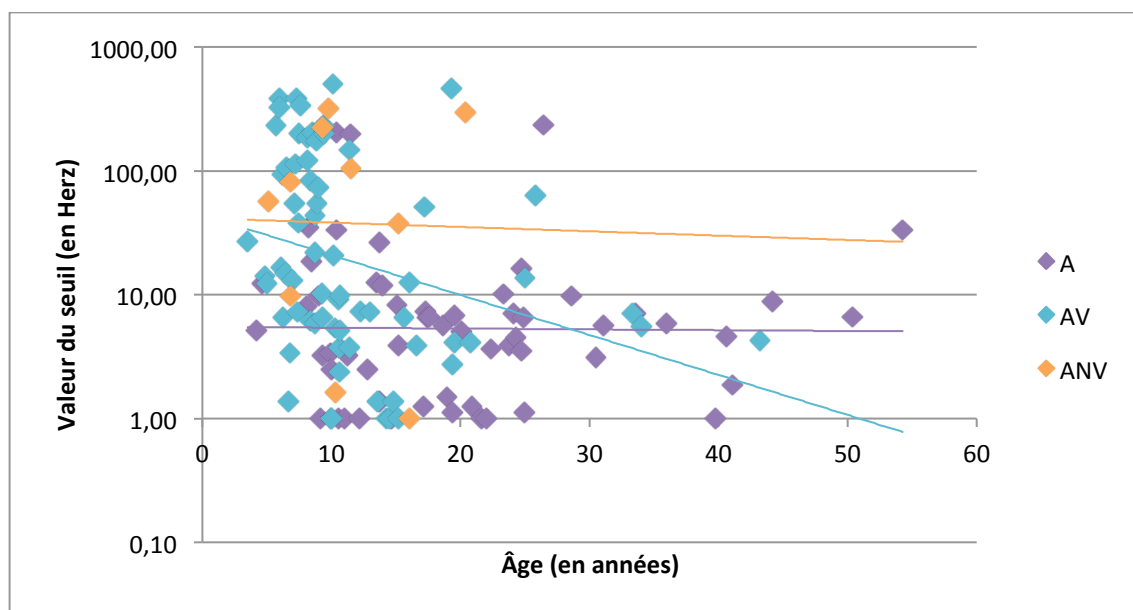


1.1.1.1.12 Hautes fréquences

Les résultats montrent un effet principal du type d'autisme ($F(2, 135) = 7.79$, $p = .001$, $\eta^2_p = .11$) : les seuils de discrimination de la durée pour le groupe syndrome d'Asperger sont significativement plus bas (et fins) que les seuils des groupes autisme verbal et autisme non verbal (Sidak post-hoc, $p < .01$).

Par ailleurs, tous types d'autisme confondus, l'âge explique une part moyenne ($R^2 = 5\%$) et significative de la variance de la valeur des seuils de discrimination de la durée ($F(1, 134) = 7.21$, $p = .008$). Toutefois, les régressions linéaires réalisées en filtrant la variable type pour chacune de ses trois modalités révèlent que ces régressions ne sont significatives que pour le groupe autisme verbal. Par contre, si l'on considère chaque type d'autisme individuellement, l'âge ne semble pas expliquer la variance de la valeur des seuils de discrimination de la durée pour les groupes syndrome d'Asperger et autisme non verbal (Figure 3-26).

Figure 3-22 : Représentation des seuils de discrimination du pitch pour les hautes fréquences (en Herz), en fonction de l'âge des participants TSA, pour chacun des trois groupes (A) syndrome d'Asperger, (AV) autisme verbal, et (ANV) autisme non verbal, pour l'Expérience 1.



Ces analyses montrent que, chez les participants TSA, et en particulier chez les participants du groupe syndrome d'Asperger, nous ne retrouvons pas la tendance développementale observée chez les participants NT.

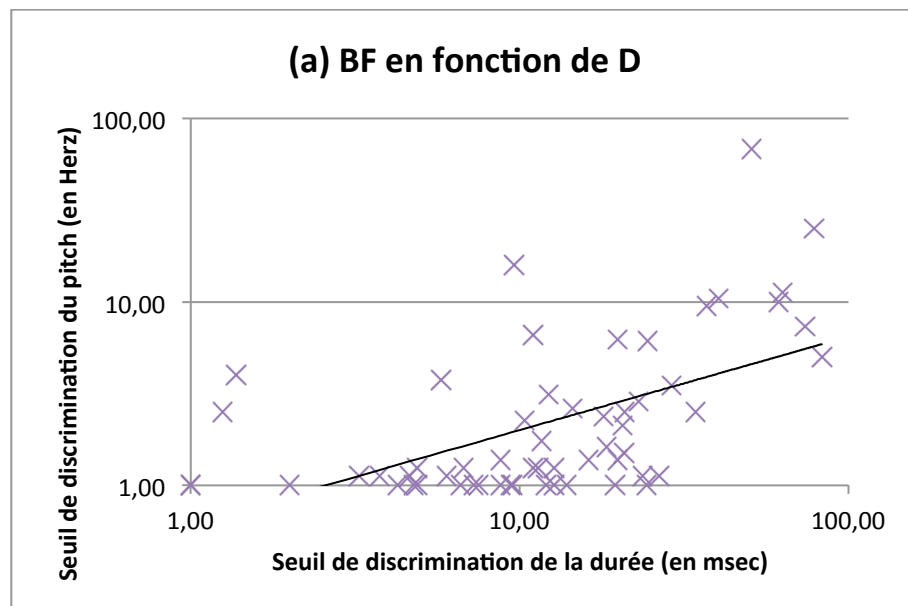
3.4.2.5 Analyse des seuils entre eux

Pour analyser la variabilité interindividuelle chez les participants TSA, et pour comprendre si les résultats dans chacune des trois conditions sont liés, nous avons réalisé des analyses de corrélations, pour l'ensemble des participants TSA, et pour chacun des trois sous-groupes (syndrome d'Asperger, autisme verbal, et autisme non verbal).

Tous groupes d'autisme confondus, les résultats révèlent des corrélations positives, moyennes à fortes, entre les trois seuils : meilleur est seuil de discrimination de la durée chez les participants TSA, meilleur est leur seuil de discrimination du pitch pour les basses fréquences ($r = .36$, $p < .0001$), et meilleur est leur seuil de discrimination du pitch pour les hautes fréquences ($r = .50$, $p < .0001$), et réciproquement ; et meilleur est leur seuil de discrimination pour les basses fréquences, meilleur est leur seuil de discrimination pour les hautes fréquences ($r = .69$, $p < .0001$), et réciproquement. Toutefois, lorsqu'on filtre la variable type pour chacune de ses trois modalités, ces résultats ne sont généralisables

qu'aux groupes syndrome d'Asperger (corrélation entre la durée et les basses fréquences : $r = .48$, $p = .0001$; corrélation entre la durée et les hautes fréquences : $r = .48$, $p = .0002$; corrélation entre les basses fréquences et les hautes fréquences : $r = .73$, $p < .0001$) (Figure 3-27), et autisme verbal (corrélation entre la durée et les basses fréquences : $r = .26$, $p = .05$; corrélation entre la durée et les hautes fréquences : $r = .44$, $p = .0005$; corrélation entre les basses fréquences et les hautes fréquences : $r = .59$, $p < .0001$) (Figure 3-28). En effet, pour le groupe autisme non verbal, seuls les seuils pour le pitch sont corrélés : meilleur est leur seuil pour les hautes fréquences ($r = .97$, $p < .0001$), et réciproquement (corrélation entre la durée et les basses fréquences : $r = .60$, $p = .12$; corrélation entre la durée et les hautes fréquences : $r = .54$, $p = .14$) (Figure 3-25).

Figure 3-23 : Représentation des seuils de discrimination du pitch (a) pour les basses fréquences en fonction du seuil de discrimination de la durée, (b) pour les hautes fréquences en fonction du seuil de discrimination de la durée, et (c) pour les hautes fréquences en fonction du seuil de discrimination des basses fréquences, pour les participants TSA du groupe syndrome d'Asperger de l'Expérience 1.



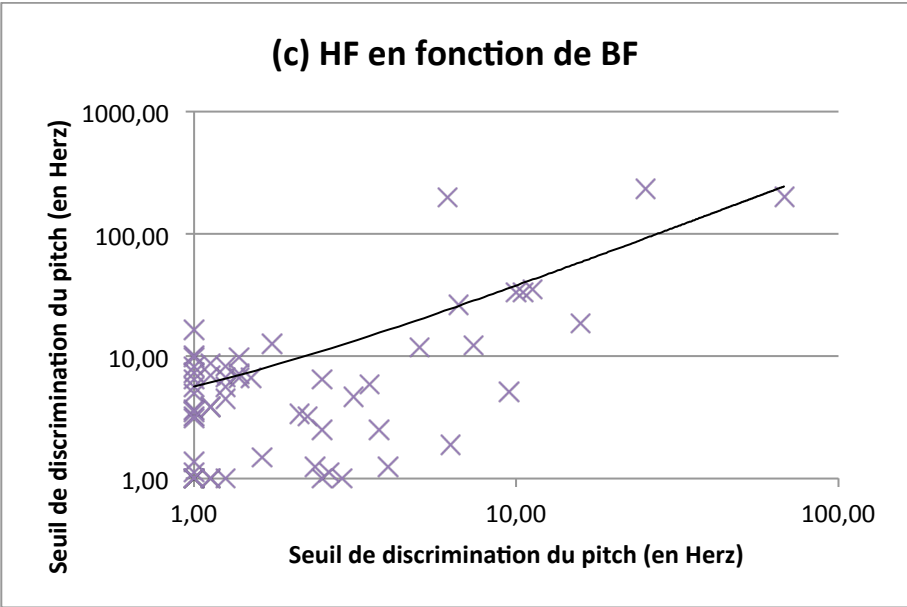
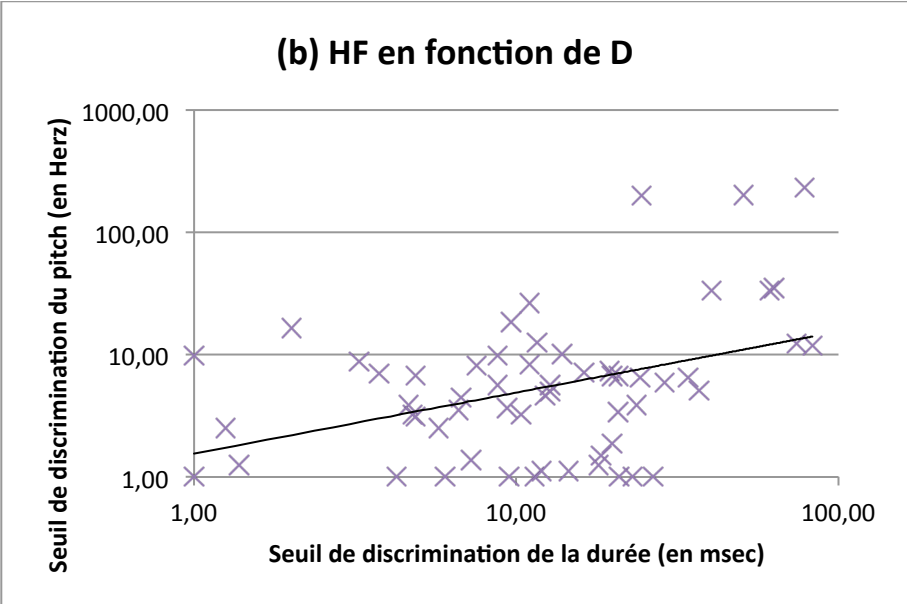
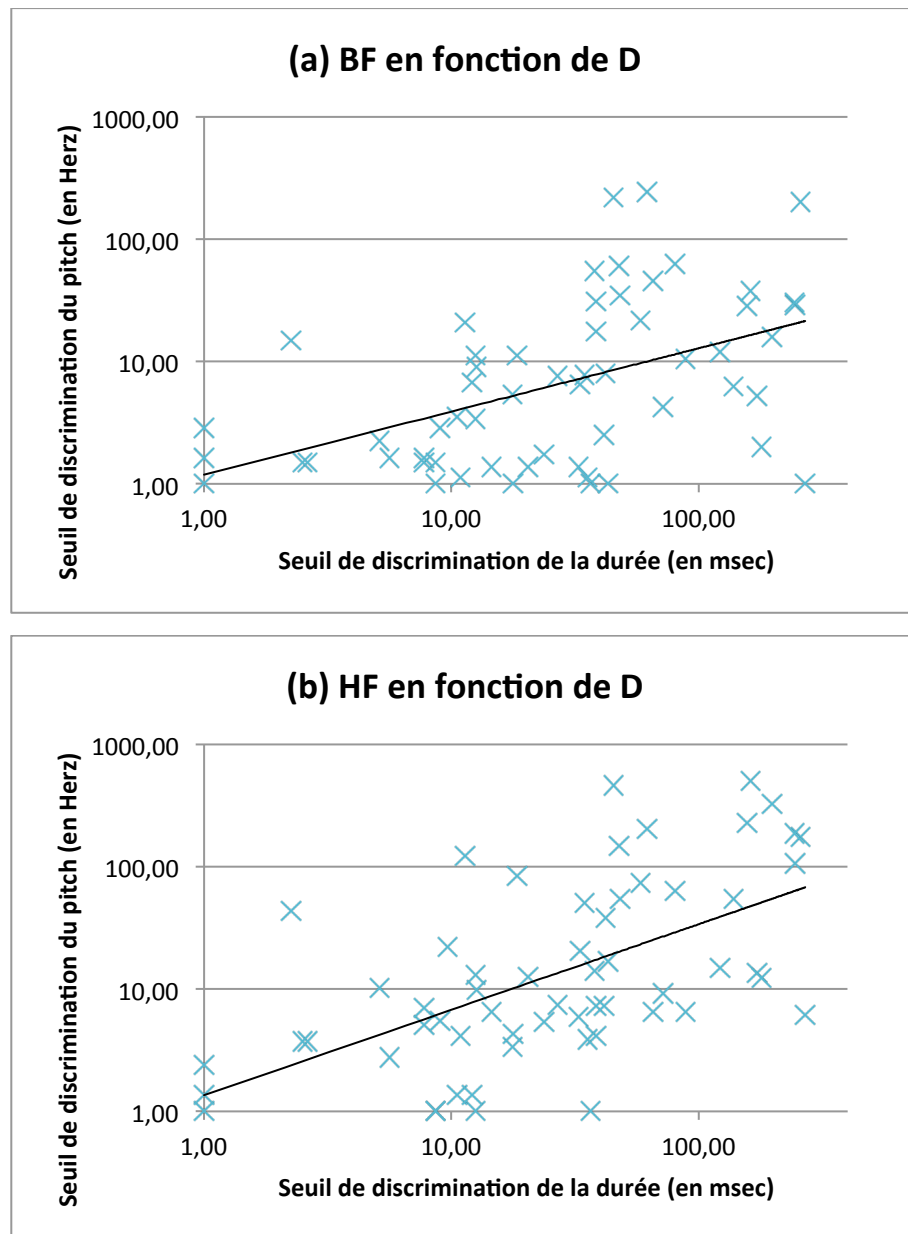


Figure 3-24 : Représentation des seuils de discrimination du pitch (a) pour les basses fréquences en fonction du seuil de discrimination de la durée, (b) pour les hautes fréquences en fonction du seuil de discrimination de la durée, et (c) pour les hautes fréquences en fonction du seuil de discrimination des basses fréquences, pour les participants TSA du groupe autisme verbal de l'Expérience 1.



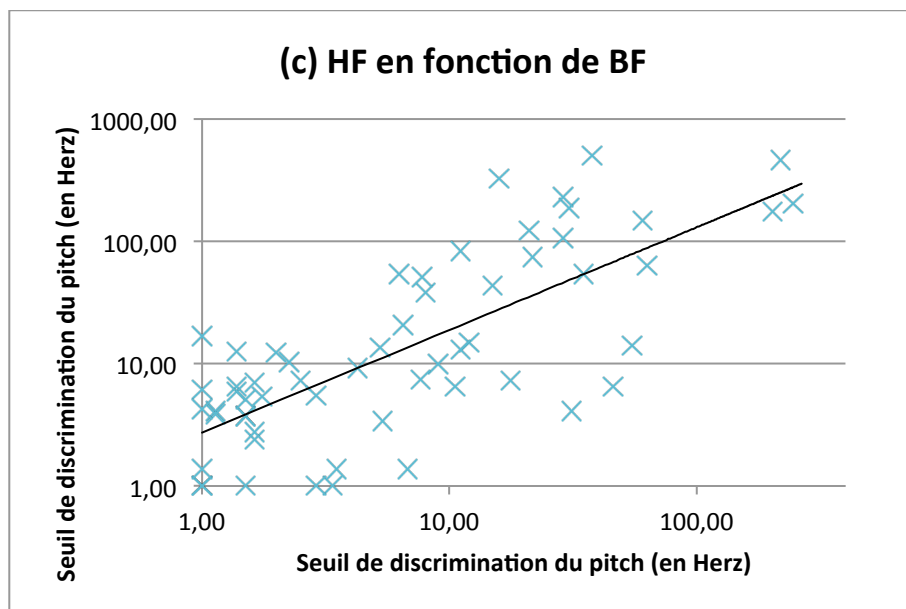
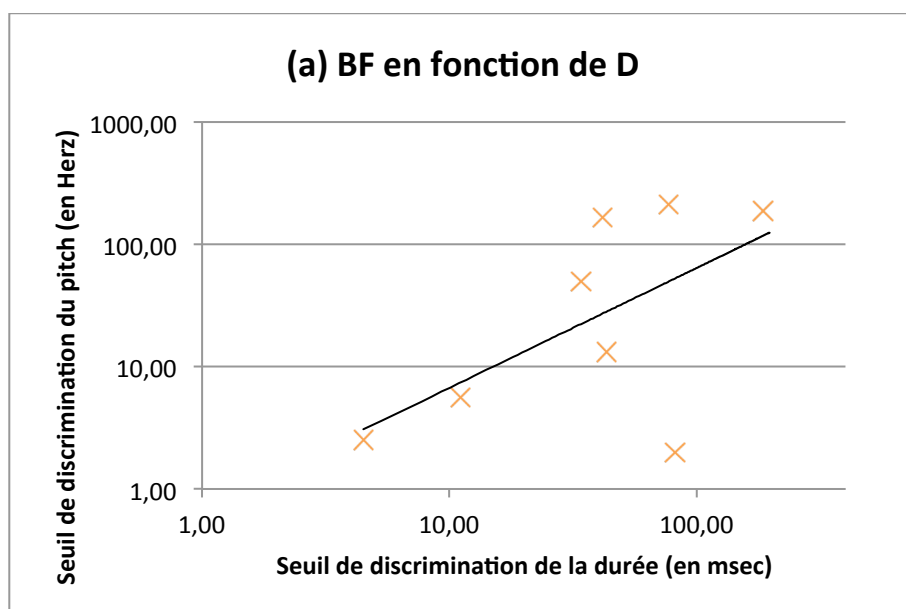
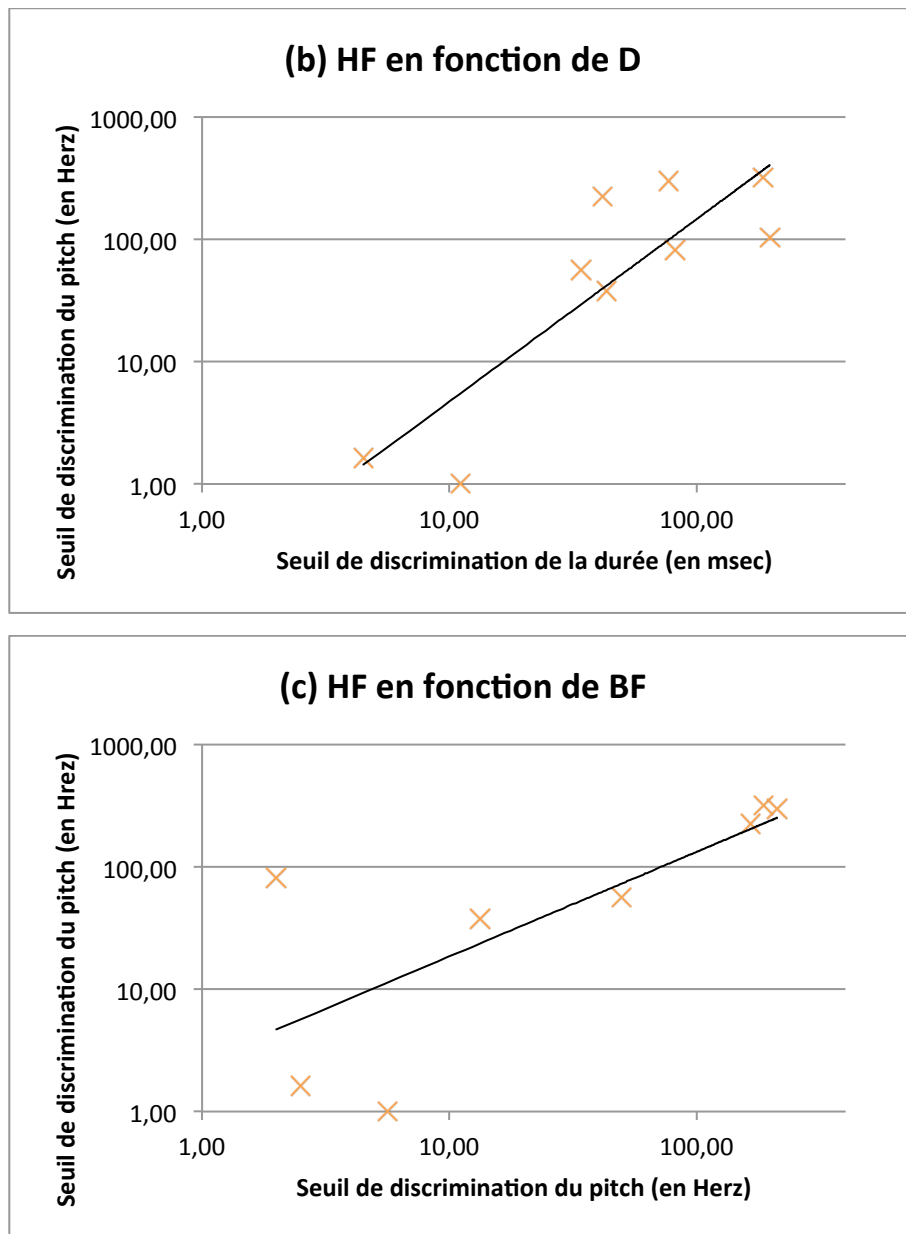


Figure 3-25 : Représentation des seuils de discrimination du pitch (a) pour les basses fréquences en fonction du seuil de discrimination de la durée, (b) pour les hautes fréquences en fonction du seuil de discrimination de la durée, et (c) pour les hautes fréquences en fonction du seuil de discrimination des basses fréquences, pour les participants TSA du groupe autisme non verbal de l'Expérience 1.





⇒ RESULTATS DES PARTICIPANTS TSA : RESUME

Dans une tâche psychoacoustique utilisant une procédure adaptative, nous avons montré que, chez les participants TSA francophones âgés de 3 à 54 ans, les seuils de discrimination de la durée et du pitch sont meilleurs pour les participants du groupe syndrome d'Asperger que pour les participants des groupes autisme verbal et autisme non verbal. De plus, ces seuils évoluent différemment avec l'âge, en fonction du type d'autisme. En effet, seuls les participants TSA du groupe autisme verbal montrent une amélioration des seuils avec le développement, ce qui n'est pas le cas des groupes syndrome d'Asperger et autisme non verbal, et uniquement pour la durée et le pitch de hautes fréquences.

Toutefois, pour le groupe autisme non verbal, l'effectif est trop petit pour affirmer ces résultats. Tout comme pour les participants NT, la nouvelle méthode de calcul des seuils (méthode A) que nous avons développée permet de mieux distinguer seuil réel et bruit pour cette population atypique, en réduisant la valeur des seuils obtenus pour les profils non attendus (« fluctuant » et « non conforme ») vers une valeur certainement plus proche de la réalité, sans pour autant surestimer les seuils pour les profils attendus (« performant » et « moins performant »).

3.4.3 Participants SW

3.4.3.1 Analyse des seuils en fonction de l'ordre de présentation

Pour chacune des trois conditions, nous avons réalisé des ANOVAs à mesures répétées avec comme facteur intra-sujets la méthode de calcul à trois modalités (A, B, et C), et comme facteur inter-sujets l'ordre de présentation des conditions à trois modalités (en première position, en deuxième, et en troisième), sur le seuil de discrimination comme variable dépendante. Comme la sphéricité des matrices n'était pas vérifiée (pour la durée : W de Mauchly = .33, $p = .002$), nous avons appliqué la correction de Greenhouse-Geisser pour cette ANOVA, ainsi que pour toutes les ANOVAs de ce groupe le cas échéant. Outre l'effet de la méthode (voir analyses détaillées dans la partie 3.4.3.2), aucun effet ni interaction n'atteint la significativité, et ce, quelle que soit la condition. Par conséquent, nous n'avons pas inclus l'ordre de présentation comme facteur dans les analyses suivantes.

3.4.3.2 Analyse des seuils en fonction des profils

Tout comme pour les groupes de participants neurotypiques et ayant un trouble du spectre autistique, l'analyse des profils comportementaux révèlent une grande hétérogénéité des performances : les quatre profils (« performant », « moins performant », « fluctuant », et « non conforme ») sont retrouvés dans deux conditions (durée et pitch de hautes fréquences, et tous les profils sauf un (« moins performant ») sont retrouvés dans la condition du pitch de basses fréquences (Tableau 3-7). Néanmoins, de façon générale, nous avons pu obtenir des profils fiables et exploitables chez un grand nombre de participants SW, en particulier dans les conditions du pitch de basses fréquences et de hautes fréquences. En effet, les tâches de discrimination du pitch semblent plus faciles, car le

nombre de profils « non conformes » est considérablement plus bas et le nombre de profils « performants » est plus élevé dans ces tâches que dans la tâche de discrimination de la durée. De ce fait, et contrairement aux participants NT et TSA, c'est la tâche de discrimination de la durée qui semble être plus difficile pour les participants SW.

Tableau 3-7 : Répartition des quatre types de profil des participants SW, pour l'Expérience 1 (en gras figurent les pourcentages des types de profils prédominants pour chacune des trois conditions).

	Performant			Moins performant			Fluctuant			Non conforme		
	BF	HF	D	BF	HF	D	BF	HF	D	BF	HF	D
SW	75,0%	62,5%	6,7%	0,0%	12,5%	20,0%	12,5%	18,8%	60,0%	12,5%	6,3%	13,3%

Pour évaluer l'effet des profils sur les seuils calculés selon les trois méthodes, nous avons donc réalisé des ANOVAs à mesures répétées avec comme facteur intra-sujets la méthode de calcul à trois modalités (A, B, et C), et comme facteur inter-sujets le type de profil à quatre modalités (performant, moins performant, fluctuant, et non conforme), pour chacune des trois conditions. Notons une certaine limite à cette analyse : les effets d'interaction entre profils et méthodes pourraient également être dus à un faible effectif dans certains sous-groupes (en effet, il n'y a qu'un seul participant SW dans le groupe « performant » pour durée, et un seul participant SW dans le groupe « non conforme pour le pitch de hautes fréquences).

1.1.1.1.13 Durée

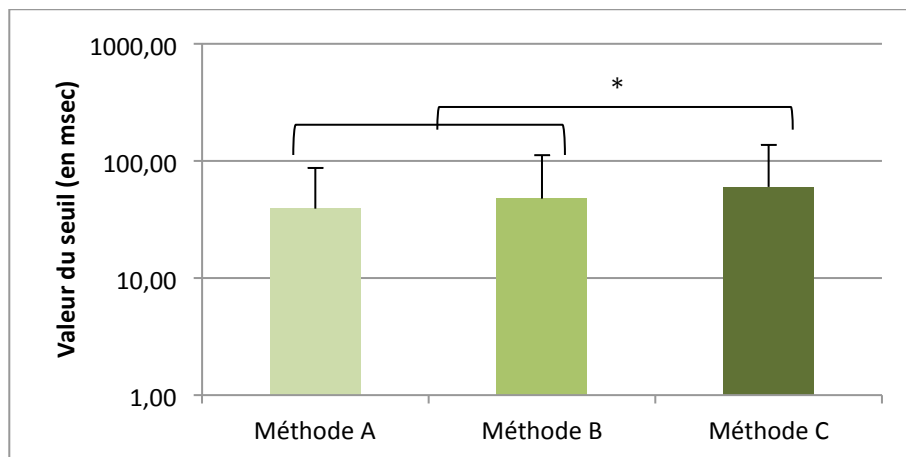
Les résultats révèlent un effet principal de la méthode ($F(1.20, 11) = 7.02$, $p = .02$, $\eta^2_p = .39$) : la méthode C donne des seuils significativement plus hauts (moins bons) que les méthodes A et B (Sidak post-hoc, $p < .05$) (Figure 3-26).

Par ailleurs, les résultats révèlent un effet principal du profil ($F(3, 11) = 7.64$, $p = .005$, $\eta^2_p = .68$) : les profils « non conformes » ont des seuils significativement moins bons que les profils « performants », « moins performants », et « fluctuants » (Sidak post-hoc, $p < .04$).

De plus, les résultats révèlent une interaction entre la méthode et le profil ($F(3.60, 11) = 3.44$, $p = .04$, $\eta^2_p = .48$). Cette interaction est due au fait que, quelle que soit la méthode de calcul utilisée, les seuils des profils « performants » et « moins performants » ne sont pas significativement différents. En outre, les seuils des profils « fluctuants » sont

significativement moins bons lorsqu'ils sont calculés avec la méthode C comparativement à la méthode B (Sidak post-hoc, $p = .01$), mais ne diffèrent pas entre les méthodes A et B, et A et C (Sidak post-hoc, $p > .14$). De plus, les seuils des profils « non conformes » sont significativement moins bons lorsqu'ils sont calculés avec la méthode C comparativement aux méthodes A et B (Sidak post-hoc, $p < .003$).

Figure 3-26 : Représentation des seuils de discrimination de la durée, en fonction des trois méthodes de calcul (A, B, et C), pour l'ensemble des participants SW de l'Expérience 1.



1.1.1.1.14 Basses fréquences

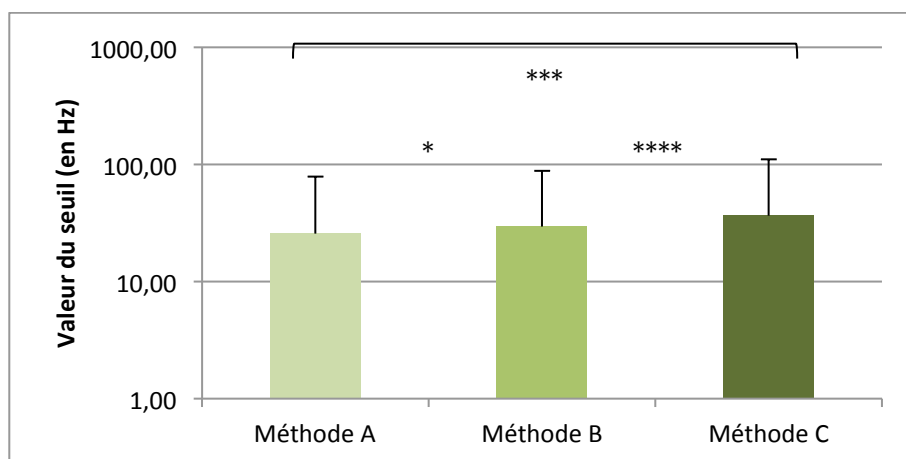
Les résultats révèlent un effet principal de la méthode ($F(2, 13) = 47.70$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .79$) : la méthode A donne des seuils significativement meilleurs que les méthodes B et C (Sidak post-hoc, $p < .03$), et la méthode B fournit des seuils significativement meilleurs que la méthode C (Sidak post-hoc, $p < .0001$) (Figure 3-27).

Par ailleurs, les résultats révèlent un effet principal du profil ($F(2, 13) = 50.87$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .89$) : les profils « non conformes » obtiennent des seuils significativement plus hauts (moins bons) que les profils « performants » et « fluctuants » (Sidak post-hoc, $p < .0002$).

De plus, les résultats révèlent une interaction entre la méthode et le profil ($F(4, 13) = 29.63$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .82$). Cette interaction est due au fait que, quelle que soit la méthode de calcul utilisée, les seuils ne diffèrent pas significativement pour les profils « performants ». Pour les profils « fluctuants », les seuils sont significativement meilleurs lorsqu'ils sont calculés avec la méthode A, comparativement aux méthodes B et C (Sidak

post-hoc, $p < .02$). Enfin, pour les profils « non conformes », les seuils sont significativement moins bons lorsqu'ils sont calculés avec la méthode C, comparativement aux méthodes A et B (Sidak post-hoc, $p < .0001$).

Figure 3-27 : Représentation des seuils de discrimination du pitch pour les basses fréquences, en fonction des trois méthodes de calcul (A, B, et C), pour l'ensemble des participants SW de l'Expérience 1.



1.1.1.1.15 Hautes fréquences

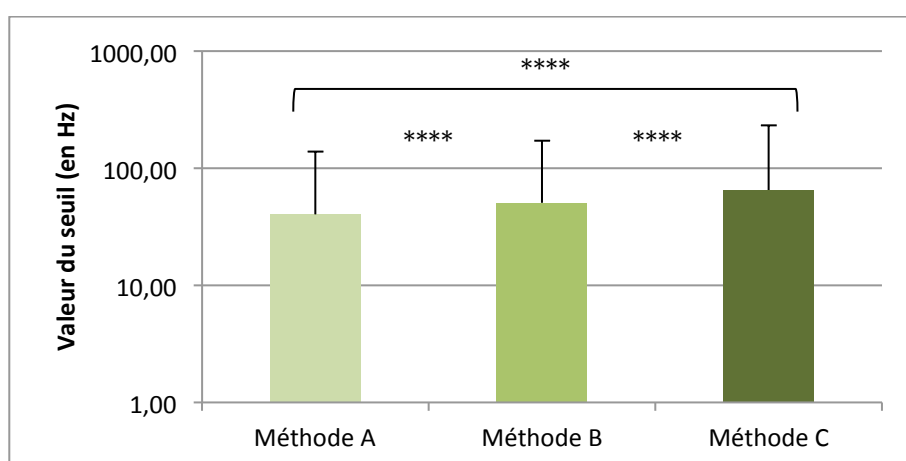
Les résultats révèlent un effet principal de la méthode ($F(2, 12) = 1412.95$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .99$) : la méthode A donne des seuils significativement meilleurs que les méthodes B et C (Sidak post-hoc, $p < .0001$), et la méthode B fournit des seuils significativement meilleurs que la méthode C (Sidak post-hoc, $p < .0001$) (Figure 3-28).

Par ailleurs, les résultats révèlent un effet principal du profil ($F(3, 12) = 242.67$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .98$) : les profils « performants » obtiennent des seuils significativement plus bas (et fins) que les profils « moins performants », « fluctuants », et « non conformes » (Sidak post-hoc, $p < .04$), et les profils « non conformes » obtiennent des seuils significativement moins bons que les profils « performants », « moins performants », et « fluctuants » (Sidak post-hoc, $p < .0001$).

De plus, les résultats révèlent une interaction entre la méthode et le profil ($F(6, 12) = 641.90$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .99$). Cette interaction est due au fait que, quelle que soit la méthode de calcul utilisée, les seuils des profils « performants » ne diffèrent pas significativement. En revanche, les seuils des profils « moins performants » sont significativement moins bons lorsqu'ils sont calculés avec la méthode C, comparativement aux méthodes A et B (Sidak post-

hoc, $p < .03$). De plus, les seuils des profils « fluctuants » sont significativement meilleurs lorsqu'ils sont calculés avec la méthode A, comparativement aux méthode B et C (Sidak post-hoc, $p < .0001$). Enfin, les seuils des profils « non conformes » sont significativement meilleurs lorsqu'ils sont calculés avec la méthode A, comparativement aux méthode B et C (Sidak post-hoc, $p < .0001$), et significativement meilleurs lorsqu'ils sont calculés avec la méthode B, comparativement à la méthode C (Sidak post-hoc, $p < .0001$).

Figure 3-28 : Représentation des seuils de discrimination du pitch pour les hautes fréquences, en fonction des trois méthodes de calcul (A, B, et C), pour l'ensemble des participants SW de l'Expérience 1.



3.4.3.3 Ratios de Weber

Nous avons calculé les ratios de Weber en divisant la valeur du seuil obtenu pour chacun des participants SW, par la valeur de référence (100 msec pour la durée, 100 Hz pour le pitch de basses fréquences, et 1000 Hz pour le pitch de hautes fréquences), pour chacune des trois conditions. Les résultats sont détaillés dans le Tableau 3-8.

Tableau 3-8 : Ratios de Weber et écart-types pour (a) la durée, (b) le pitch de basses fréquences, et (c) le pitch de hautes fréquences, pour l'ensemble des participants SW de l'Expérience 1.

		(a) Durée		
		Méthode A	Méthode B	Méthode C
Syndrome de Williams (N=15)	Moy	0,39175	0,47717	0,60067
	Ety	0,48175	0,64633	0,77068

		(b) Basses fréquences		
		Méthode A	Méthode B	Méthode C
Syndrome de Williams (N=16)	Moy	0,25703	0,29344	0,36578
	Ety	0,53520	0,58404	0,73636

		(c) Hautes fréquences		
		Méthode A	Méthode B	Méthode C
Syndrome de Williams (N=16)	Moy	0,04038	0,05059	0,06525
	Ety	0,09868	0,12051	0,16614

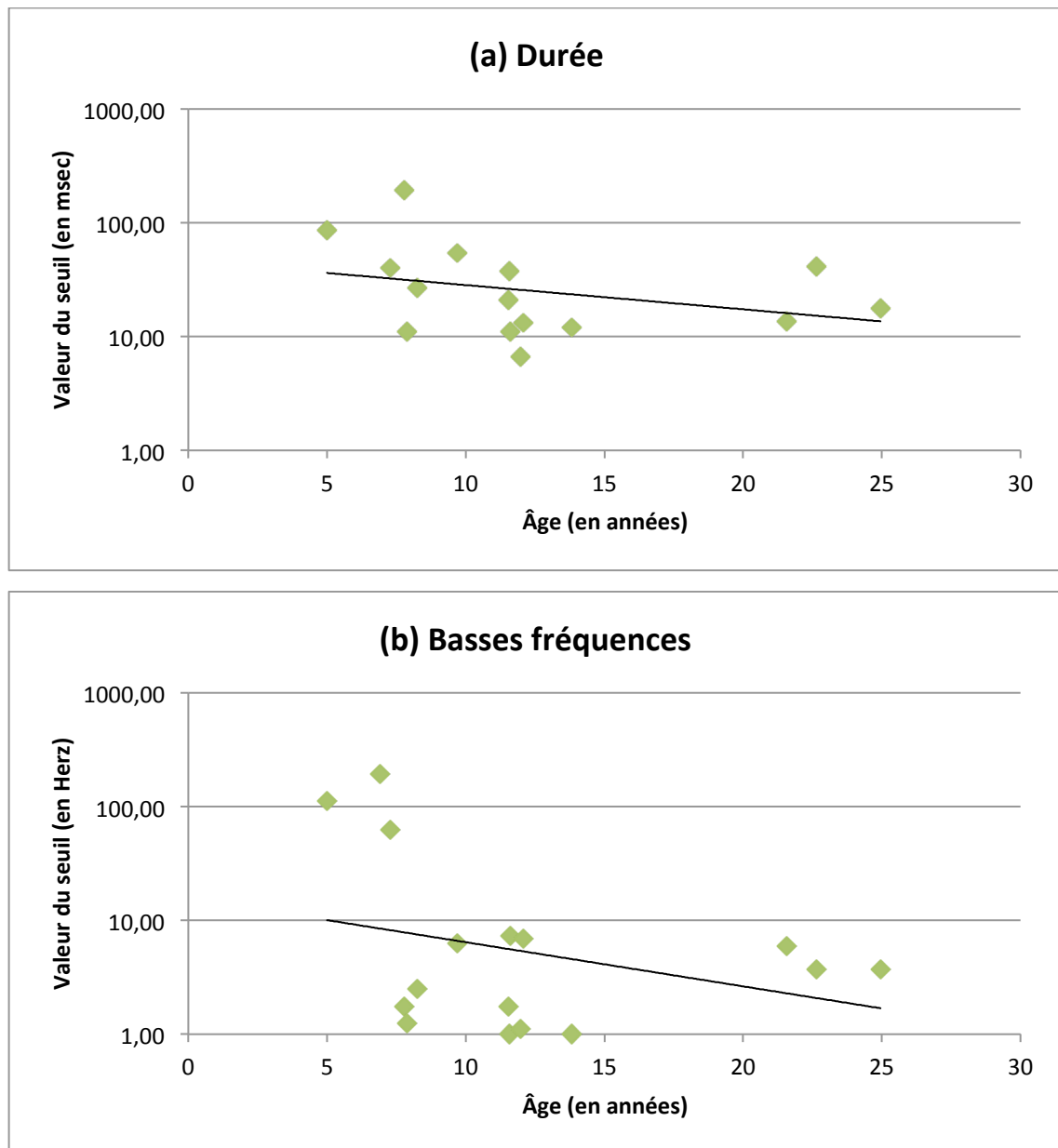
A notre connaissance, il n'existe pas dans la littérature de valeur de référence quant aux ratios de Weber pour la discrimination auditive dans le syndrome de Williams. Si l'on garde en mémoire les résultats de France et al. (2002) obtenus auprès d'une population ayant une dyslexie, les ratios pour le pitch sont de l'ordre de 0.03. Ainsi, les résultats que nous obtenus avec notre population SW sont bien supérieurs aux ratios obtenus dans la population typique (.20 pour la durée et .01 pour le pitch), et également supérieurs à la valeur de référence « atypique » pour le pitch (.03). De ce fait, dans un souci d'homogénéité avec la population NT et la population TSA, et comme la méthode A fournit les ratios les moins élevés, nous avons décidé de garder uniquement la méthode A pour l'ensemble des analyses suivantes.

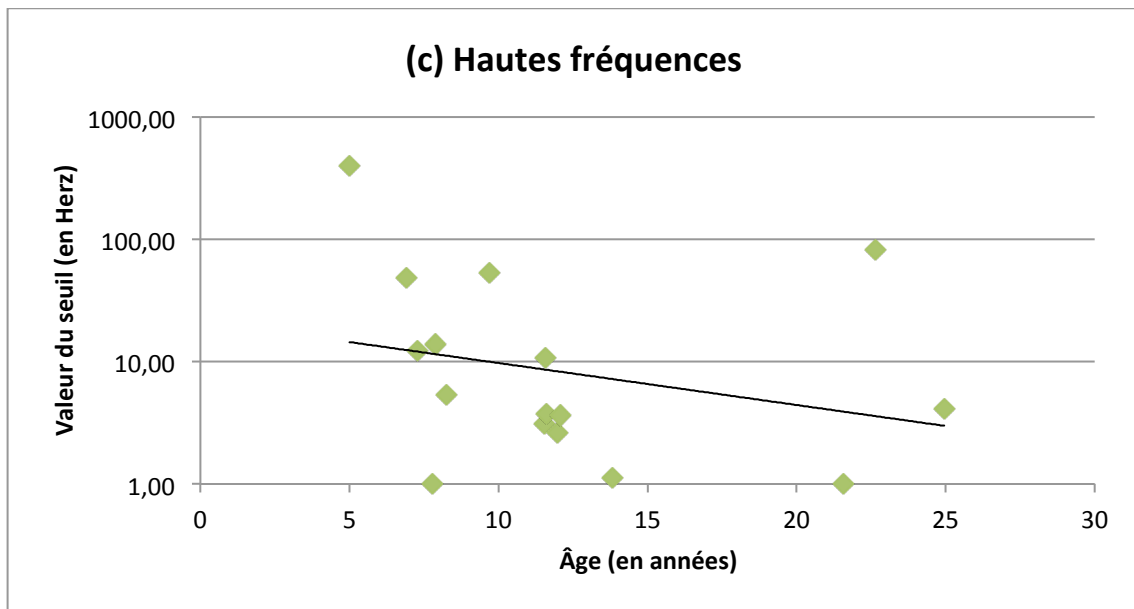
3.4.3.4 Analyse des seuils en fonction de l'âge

Nous avons réalisé des analyses de régression afin de déterminer la contribution éventuelle de l'âge sur les seuils de discrimination des participants SW. Pour chacune des trois conditions, nous avons donc réalisé une régression linéaire simple, avec le seuil de discrimination comme variable dépendante, et l'âge comme prédicteur, pour l'ensemble des participants SW.

Aucun résultat n'atteint la significativité : l'âge ne semble pas expliquer la variance des seuils de discrimination pour la durée, les basses fréquences, et les hautes fréquences (Figure 3-29). Toutefois, les représentations graphiques suggèrent tout de même une amélioration des seuils avec l'âge : ces tendances pourraient peut-être se vérifier en augmentant le nombre de participants dans ce groupe.

Figure 3-29 : Représentation des seuils de discrimination (a) de la durée (en msec), (b) du pitch pour les basses fréquences (en Herz), et (c) du pitch pour les hautes fréquences (en Herz), en fonction de l'âge des participants SW, pour l'Expérience 1.





3.4.3.5 Analyse des seuils entre eux

Pour analyser la variabilité interindividuelle chez les participants SW, et pour comprendre si les résultats dans chacune des trois conditions sont liés, nous avons réalisé des analyses de corrélations bivariées, pour l'ensemble des participants SW.

Aucun résultat n'atteint la significativité : il ne semble pas y avoir de lien entre les valeurs des seuils de discrimination des trois conditions.

⇒ **RESULTATS DES PARTICIPANTS SW : RESUME**

Dans une tâche psychoacoustique utilisant une procédure adaptative, nous avons montré que, chez les participants SW francophones âgés de 5 à 24 ans, les seuils de discrimination de la durée et du pitch n'étaient pas sensibles à l'âge. Toutefois, le groupe de participants que nous avons rencontrés est très hétérogène en terme d'âge, et il s'agit d'un petit effectif, fournissant une puissance statistique non suffisante. De ce fait, ces résultats sont à interpréter avec prudence.

3.4.4 Comparaison entre les groupes

Afin de vérifier si les participants ont des profils différents selon leur groupe d'appartenance, nous avons réalisé des ANOVAs univariées sur la variable dépendante seuil de discrimination (calculés avec la méthode A), avec comme facteur inter-sujets le type de participants à deux modalités (neurotypique et atypique), séparément pour chacun des

quatre groupes atypiques (syndrome d'Asperger, autisme verbal, autisme non verbal, et syndrome de Williams) en les comparant à leur propre groupe de témoins NT, pour chacune des trois conditions (durée, basses fréquences, et hautes fréquences).

3.4.4.1 *Analyse des profils*

Afin de vérifier si le profil des participants est fonction de leur groupe d'appartenance, nous avons réalisé des tests non paramétriques (test de Kruskal-Wallis pour échantillons indépendants) sur la variable dépendante « pourcentage de participants par type de profil », avec comme facteur inter-sujets le type de participants à deux modalités (typique et atypique), pour chacune des trois conditions (durée, basses fréquences, et hautes fréquences), et pour chacun des quatre groupes atypiques (syndrome d'Asperger, autisme verbal, autisme non verbal, et syndrome de Williams).

1.1.1.1.16 *Participants NT versus syndrome d'Asperger*

Aucun résultat n'atteint la significativité ($p = .26$ pour la durée ; $p = .64$ pour les basses fréquences ; et $p = .80$ pour les hautes fréquences) : le type de comportement durant les tâches de discrimination est identique pour les deux groupes, et ce pour les trois conditions (Tableau 3-9).

Tableau 3-9 : Comparaison des répartitions des quatre types de profil pour les participants TSA du groupe syndrome d'Asperger, comparativement à leurs contrôles neurotypiques de même âge chronologique, pour l'Expérience 1.

	Performant			Moins performant			Fluctuant			Non conforme		
	BF	HF	D	BF	HF	D	BF	HF	D	BF	HF	D
A	79,3%	58,6%	24,1%	17,2%	27,6%	19,0%	3,4%	8,6%	50,0%	0,0%	5,2%	6,9%
NT	77,6%	58,6%	12,1%	17,2%	24,1%	51,7%	3,4%	15,5%	34,5%	1,7%	1,7%	1,7%

1.1.1.1.17 *Participants NT versus autisme verbal*

Les résultats révèlent un effet significatif du type pour la durée ($p = .01$) et pour les basses fréquences ($p = .01$), ainsi qu'un effet marginal pour les hautes fréquences ($p = .06$) : pour la durée, les participants NT contrôles ont davantage de profils « moins performants » et moins de profils « non conformes » que les participants TSA du groupe autisme verbal ; et

pour le pitch (basses fréquences et hautes fréquences), les participants NT contrôles ont davantage de profils « performants » et moins de profils « fluctuants » que les participants TSA du groupe autisme verbal (Tableau 3-10).

Tableau 3-10 : Comparaison des répartitions des quatre types de profil pour les participants TSA du groupe autisme verbal, comparativement à leurs contrôles neurotypiques de même âge chronologique, pour l'Expérience 1.

	Performant			Moins performant			Fluctuant			Non conforme		
	BF	HF	D	BF	HF	D	BF	HF	D	BF	HF	D
AV	45,0%	33,8%	10,2%	23,3%	20,6%	16,9%	25,0%	22,1%	47,5%	6,7%	23,5%	25,4%
NT	65,0%	39,7%	11,9%	26,7%	33,8%	40,7%	6,7%	19,1%	44,1%	1,7%	7,4%	3,4%

1.1.1.1.18 Participants NT versus autisme non verbal

Les résultats révèlent un effet du type pour la durée ($p = .002$), pour les basses fréquences ($p = .02$), ainsi que pour les hautes fréquences ($p = .01$) : quelle que soit la condition, les participants NT contrôles ont davantage de profils « performants » et « moins performants » que les participants TSA du groupe autisme non verbal, et ces derniers ont davantage de profils « fluctuants » et « non conformes » que leurs contrôles neurotypiques (Tableau 3-11).

Tableau 3-11 : Comparaison des répartitions des quatre types de profil pour les participants TSA du groupe autisme non verbal, comparativement à leurs contrôles neurotypiques de même âge chronologique, pour l'Expérience 1.

	Performant			Moins performant			Fluctuant			Non conforme		
	BF	HF	D	BF	HF	D	BF	HF	D	BF	HF	D
ANV	37,5%	20,0%	0,0%	12,5%	10,0%	11,1%	12,5%	10,0%	44,4%	37,5%	60,0%	44,4%
NT	62,5%	50,0%	22,2%	37,5%	10,0%	44,4%	0,0%	30,0%	33,3%	0,0%	10,0%	0,0%

1.1.1.1.19 Participants NT versus syndrome de Williams

Aucun résultat n'atteint la significativité ($p = .37$ pour la durée ; $p = .94$ pour les basses fréquences ; et $p = .74$ pour les hautes fréquences) : le type de profil durant les tâches de

discrimination semble être identique pour les deux groupes, et ce pour les trois conditions. Toutefois, le Tableau 3-12 laisse supposer que la répartition des profils « moins performants », « fluctuants », et « non conformes » est différente entre les deux groupes : on observe davantage de profils « moins performants » dans le groupe NT que dans le groupe SW, et davantage de profils « fluctuants » et « non conformes » dans le groupe SW que dans le groupe NT. Cette absence de résultat statistique est très probablement due à la taille insuffisante de notre échantillon (15 participants par groupe).

Tableau 3-12 : Comparaison des répartitions des quatre types de profil pour les participants SW, comparativement à leurs contrôles neurotypiques de même âge chronologique, pour l'Expérience 1.

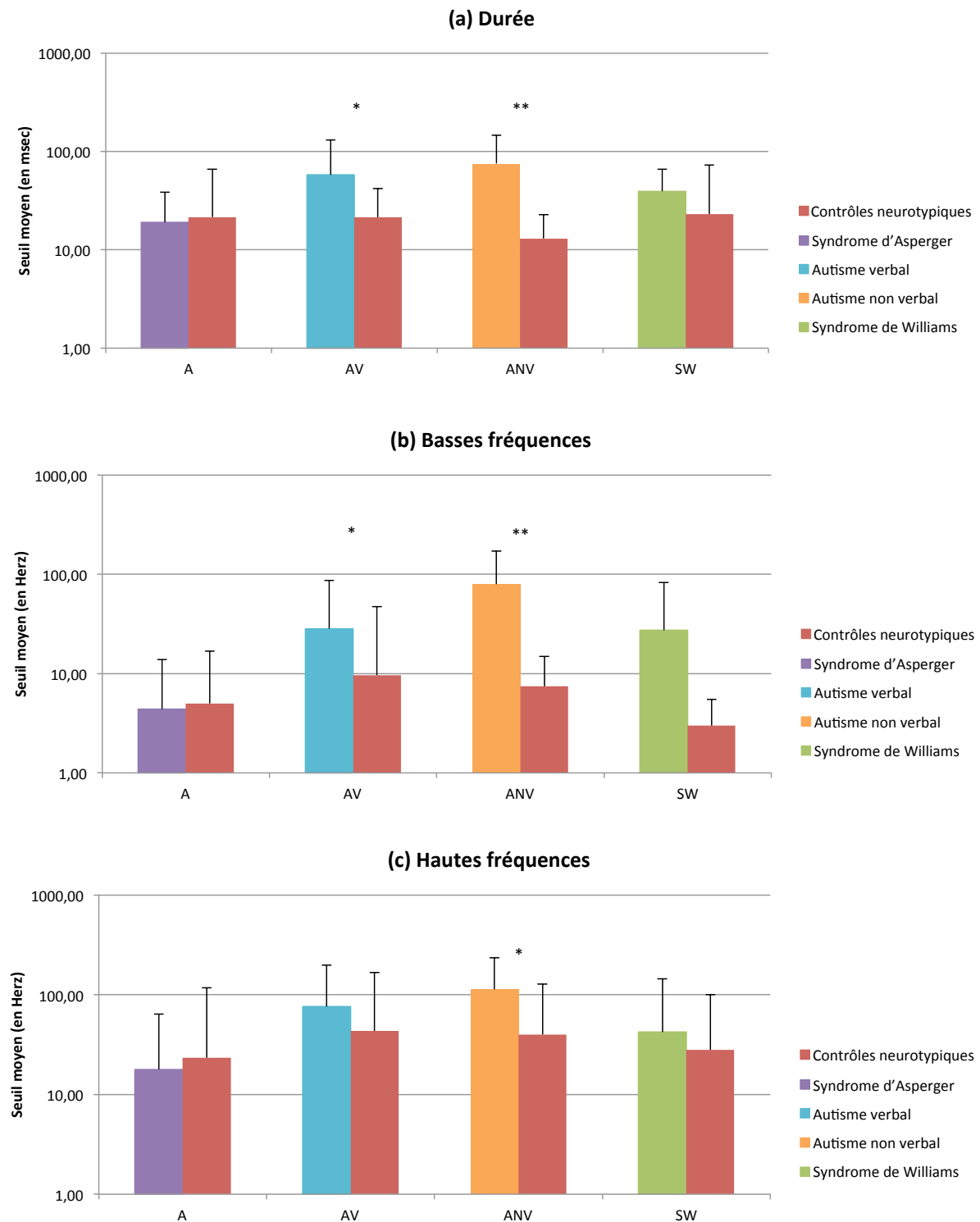
	Performant			Moins performant			Fluctuant			Non conforme		
	BF	HF	D	BF	HF	D	BF	HF	D	BF	HF	D
SW	73,3%	66,7%	7,1%	0,0%	6,7%	14,3%	13,3%	20,0%	64,3%	13,3%	6,7%	14,3%
NT	66,7%	53,3%	7,1%	26,7%	33,3%	42,9%	6,7%	6,7%	42,9%	0,0%	6,7%	7,1%

3.4.4.2 Analyse des seuils

Pour comparer les seuils de discrimination des participants typiques et atypiques, nous avons réalisé des ANOVAs univariées sur la variable dépendante seuil de discrimination auditive, avec comme facteur inter-sujets le type de participants à deux modalités (typique et atypique), pour chacune des trois conditions (durée, basses fréquences, et hautes fréquences), et pour chacun des quatre groupes atypiques (syndrome d'Asperger, autisme verbal, autisme non verbal, et syndrome de Williams).

Les résultats sont illustrés par la Figure 3-30.

Figure 3-30 : Seuils de discrimination pour l'ensemble des quatre groupes atypiques (A) syndrome d'Asperger, (AV) autisme verbal, (ANV) autisme non verbal, et (SW) syndrome de Williams, comparativement à leurs contrôles neurotypiques de même âge chronologique, pour les trois conditions (a) Durée, (b) Pitch de basses fréquences, et (c) Pitch de hautes fréquences, de l'Expérience 1.



1.1.1.1.20 Participants NT versus syndrome d'Asperger

Aucun résultat n'atteint la significativité : les participants TSA du groupe syndrome d'Asperger semblent avoir des seuils de discrimination qui ne diffèrent pas des seuils de leurs contrôles NT de même âge chronologique, et ce pour les trois conditions.

1.1.1.1.21 Participants NT versus autisme verbal

Les résultats révèlent un effet du groupe pour la durée ($F(1, 132) = 8.09, p = .05, \eta^2_p = .06$), ainsi que pour les basses fréquences ($F(1, 134) = 4.27, p = .04, \eta^2_p = .03$) : dans ces deux conditions, les participants NT ont des seuils significativement plus bas (et fins) que les participants TSA du groupe autisme verbal. Dans la condition du pitch de hautes fréquences, les participants TSA du groupe autisme verbal ne semblent pas avoir des seuils de discrimination significativement différents de leurs contrôles neurotypiques de même âge chronologique.

1.1.1.1.22 Participants NT versus autisme non verbal

Les résultats révèlent un effet du type pour la durée ($F(1, 23) = 10.27, p = .004, \eta^2_p = .32$), les basses fréquences ($F(1, 22) = 10.19, p = .004, \eta^2_p = .33$), et les hautes fréquences ($F(1, 24) = 4.80, p = .04, \eta^2_p = .17$) : les participants NT ont des seuils significativement plus bas (et fins) que les participants TSA du groupe autisme non verbal.

1.1.1.1.23 Participants NT versus syndrome de Williams

Aucun résultat n'atteint la significativité : les participants SW semblent avoir des seuils de discrimination qui ne diffèrent pas des seuils de leurs contrôles NT de même âge chronologique, et ce pour les trois conditions. Toutefois, étant donné le faible nombre de participants dans ce groupe, ces résultats sont très probablement dus à un manque de puissance statistique.

3.5 Discussion intermédiaire

Par cette première expérience, nous avons cherché à déterminer les seuils de discrimination de deux indices acoustiques de la parole (la durée et le pitch), chez trois groupes de participants (des participants neurotypiques, des participants présentant un trouble du spectre autistique, et des participants ayant le syndrome de Williams-Beuren), à

tous les âges du développement, en utilisant une tâche de psychoacoustique classique. Cette étude est la première à s'intéresser à la discrimination auditive dans une population typique francophone aussi large, mais également la première à s'attacher à deux populations atypiques : d'une part en testant les capacités de discrimination de l'ensemble du spectre de l'autisme, et non pas d'un sous-groupe d'individus, et d'autre part en examinant pour la première fois cet aspect de la perception dans le syndrome de Williams.

Les résultats de l'Expérience 1, synthétisés dans le Tableau 3-13, sont en accord avec la littérature pour ce qui est du développement typique : les seuils de discrimination de la durée et du pitch (basses fréquences et hautes fréquences) diminuent (donc s'améliorent) nettement avec l'âge entre 3 et 8 ans, et atteignent leur niveau adulte avant l'adolescence (vers 11 ans).

Ainsi, les adultes francophones sont capables de discriminer une variation de 10 msec lorsqu'on leur présente un son de base de 200 msec (soit 5% de variation pour la durée), une variation de 3 Hz lorsqu'on leur présente un son de base de 200 Hz, et une variation de 10 Hz lorsqu'on leur présente un son de base de 1000 Hz (soit entre 1% et 1.5% de variation pour le pitch). Globalement, les enfants atteignent les mêmes performances que les adultes vers l'âge de 11 ans. Avant cela, les seuils sont bien supérieurs et on observe une grande variabilité interindividuelle, pour les trois conditions.

Par ailleurs, nos données concernant les populations atypiques de notre étude montrent que les individus ayant le syndrome d'Asperger ou le syndrome de Williams ont des seuils qui ne diffèrent pas de leurs contrôles (confirmant, pour le syndrome d'Asperger, les travaux de Bonnel et al., 2010), et ce dans les trois conditions. *A contrario*, les individus ayant un autre type d'autisme ont des seuils supérieurs (donc moins bons) que les individus neurotypiques : dans les trois conditions pour les participants non verbaux, et seulement pour la durée et le pitch de basses fréquences pour les participants verbaux. De ce fait, nous ne retrouvons pas l'avantage des personnes avec autisme dans la discrimination de tons purs mis en évidence chez un sous-groupe de participants non Asperger par Bonnel et al. (2010). Toutefois, il se peut que ces deux groupes de participants TSA aient vraiment des seuils de discrimination plus fins que les NT, et qu'on sous-estime leurs seuils car même la Méthode A est influencée par leurs problèmes attentionnels et de compréhension. De ce fait, il serait tout à fait pertinent, dans le futur, d'analyser les seuils des participants ayant les meilleurs profils (« performant » et « moins performant »). De plus, alors que l'on observe

une évolution développementale des seuils chez les participants NT de notre étude, ce n'est pas le cas dans tous les groupes de participants atypiques. Pour le groupe de participants TSA, une évolution des seuils avec l'âge est observée uniquement pour le groupe de participants autisme verbal, et seulement dans les conditions de durée et de pitch de hautes fréquences. Pour le groupe SW, aucun lien n'est retrouvé entre la valeur des seuils et l'âge des participants. Cependant, pour les groupes TSA non verbal et SW, les résultats peuvent s'expliquer par le faible nombre de participants (et notamment le fait qu'il n'y ait que trois adultes dans le groupe SW). Néanmoins, en ce qui concerne le groupe syndrome d'Asperger, l'absence de pattern développemental et les seuils moyens non différents des seuils retrouvés chez les typiques peuvent cacher un élément important : il se peut que les jeunes enfants Asperger aient un seuil meilleur que leurs contrôles NT, et que cet effet soit masqué par le petit nombre de participants dans ce groupe d'âge. En effet, seuls neuf enfants TSA syndrome d'Asperger, âgés de 4 à 9 ans, ont participé à cette expérience. Bien que cela représente 15% du groupe syndrome d'Asperger entier, la variabilité est forcément moindre, comparativement à la centaine d'enfants NT du même âge que nous avons pu rencontrer. Ainsi, peut-être que les enfants Asperger ont de meilleures capacités de discrimination que les typiques, et que les adultes ont des capacités de discrimination équivalentes voire plus faibles, ce qui, au niveau du groupe, conduirait à une moyenne typique, alors qu'au niveau développemental la trajectoire serait tout à fait différente comparativement au développement typique. Il serait donc intéressant de rencontrer davantage de jeunes enfants ayant le syndrome d'Asperger (entre 3 et 9 ans), de façon à constituer un groupe plus important, afin de pouvoir tester cette hypothèse.

En outre, ce travail a permis de développer deux méthodes de calcul des seuils de discrimination, et de comparer ces méthodes à la méthode classiquement utilisée. Le but de cette démarche partait du constat qu'il y avait du bruit dans les données, notamment chez les plus jeunes enfants et chez certains individus au développement atypique ; nous voulions donc trouver une méthode permettant de mieux distinguer seuil réel et bruit dans les données des plus jeunes participants et des participants atypiques. En effet, pour les participants NT, la procédure classique de calcul du seuil fournit des valeurs bien supérieures aux valeurs mentionnées dans la littérature. Or, étant donné que les capacités attentionnelles et de concentration sont très fluctuantes chez les enfants et dans les deux populations atypiques étudiées, il semble qu'une des méthodes développée ici (*Méthode A*)

permet une estimation plus fiable des capacités de discrimination des participants jeunes et/ou atypiques. Elle fournit des seuils plus bas (donc meilleurs) que la méthode classique. Est-ce à dire qu'elle surévalue les performances de ces participants ? Plusieurs éléments de nos données suggèrent que non : cet effet est seulement présent dans les populations les plus susceptibles de problèmes attentionnels, de concentration, ou de compréhension. En revanche, chez les adultes, pour les profils « performants » et « moins performants », les seuils calculés avec cette nouvelle méthode sont très proches des seuils calculés avec la méthode de calcul classique ; ce qui signifie qu'elle ne surévalue pas les capacités de discrimination mesurées de façon générale. Quant à la deuxième méthode que nous avons développée (*Méthode B*), elle fournit des seuils systématiquement inférieurs aux seuils calculés avec la méthode classique, et parfois semblables à ceux calculés avec la méthode A. Elle pourrait donc, tout comme la méthode A, être une alternative à la méthode classique pour les participants ayant des profils « fluctuants » ou « non conformes », tout en étant plus conservatrice que cette dernière.

Toutefois, il est à noter que deux de nos groupes de participants atypiques comportent un nombre faible de participants, ce qui est une limite à une puissance statistique suffisante. En effet, la tâche s'est révélée particulièrement compliquée pour les participants TSA du groupe autisme non verbal – certains n'ont pas voulu coopérer, d'autres n'ont vraiment pas compris la consigne, malgré les répétitions de la phase d'entraînement – aboutissant à un nombre restreint de participants dans ce groupe (seulement 15 participants, dont seulement 8 à 10 se sont prêtés à l'Expérience 1). Par ailleurs, le syndrome de Williams-Beuren étant une maladie génétique rare, nous avons pu rencontrer 17 participants ; néanmoins, la dispersion des âges dans ce groupe est assez large, limitant la puissance statistique de certaines des analyses conduites.

Si l'on reprend les hypothèses énoncées au début de ce chapitre, et les comparons aux données que nous avons obtenues :

- Nous nous attendions à une amélioration des seuils et une homogénéisation des profils avec le développement ; c'est effectivement ce que nous observons dans la population typique que nous avons rencontrée : les adultes obtiennent des seuils plus bas (et fins) que les enfants, et nous observons une plus grande variabilité des résultats chez les enfants comparativement aux adolescents et aux

adultes (confirmant les données de Banai & Yuval-Weiss, 2013 ; Moore, Ferguson, Halliday, & Riley, 2008 ; Walker, Hall, Klein, & Phillips, 2006 ; Hartley, Wright, Hogan, & Moore, 2000 ; Maxon & Hochberg, 1982).

- Nous avons fait l'hypothèse de profils contrastés, variables selon les spécificités de déficits des participants TSA, et selon leur âge ; il semble effectivement que tous les participants TSA ne se comportent pas de la même manière : les participants du groupe syndrome d'Asperger ont des seuils qui ne sont pas différents de ceux de leurs contrôles neurotypiques de même âge chronologique (confirmant d'ailleurs Chevallier, Noveck, Happé, & Wilson, 2008), alors que les participants des groupes autisme verbal et autisme non verbal obtiennent des seuils significativement moins bons que leurs contrôles. De plus, nous observons une variation selon l'âge pour les participants du groupe autisme verbal. Toutefois, dans cette étude, nous n'avons pas mis en évidence de meilleures performances pour un sous-groupe d'individus non Asperger comme ont pu le montrer Bonnel et al., 2010 ; Jones et al., 2009 ; O'Riordan & Passetti, 2006 ; ou encore McCann & Peppé, 2003. Il se peut que cette différence soit observable chez des individus autisme non verbal ; auquel cas, augmenter notre échantillon de participants s'avère nécessaire.
- Enfin, nous avons fait l'hypothèse d'un avantage des participants SW sur leurs contrôles neurotypiques, seulement jusqu'à l'adolescence étant donnée l'évolution de l'hyperacousie dans cette population ; le groupe de participants que nous avons pu observer ne semble pas confirmer cette hypothèse. Toutefois, nos résultats portent sur un nombre restreint d'observations et nécessitent d'être confirmés.

Tableau 3-13 : Synthèse des résultats obtenus à l'Expérience 1, pour l'ensemble des groupes (NT, TSA, et SW), et pour les trois conditions (durée, pitch de basses fréquences, et pitch de hautes fréquences).

	Pattern développemental			Profil proéminent		
	Durée	Basses fréquences	Hautes fréquences	Durée	Basses fréquences	Hautes fréquences
Neurotypiques	✓	✓	✓	Fluctuant	Performant	Performant
Syndrome d'Asperger	✗	✗	✗	Performant	Performant	Fluctuant
Autisme verbal	✓	✗	✓	Performant	Performant	Fluctuant
Autisme non verbal	✗	✗	✗	Non conforme	Performant/ Non conforme	Fluctuant
Syndrome de Williams	✗	✗	✗	Fluctuant	Performant	Performant

4. CHAPITRE 4 (EXPERIENCE 2) : GROUPEMENTS DE TONS PURS SELON LA LOI IAMBO-TROCHAÏQUE

4.1 Introduction

L'objectif de cette expérience est d'évaluer la modulation éventuelle de l'ITL (*iambic-trochaic law*) par le type de développement (typique ou atypique) et par les changements développementaux des capacités auditives. Comme nous l'avons mentionné dans l'introduction générale, la loi iambo-trochaïque (Hayes, 1985) stipule que les sons variant en durée sont groupés de façon iambique (le son court, non accentué, en premier dans la paire, et le son long, accentué, en deuxième), alors que les sons variant en intensité et en pitch sont groupés de façon trochaïque (le son fort ou aigu, accentué, en premier dans la paire, et le son faible ou grave, non accentué, en deuxième).

L'importance de ce biais perceptif est qu'il offre un mécanisme non-linguistique et potentiellement universel pour aider l'acquisition d'un aspect fondamental du langage : l'apprentissage de l'ordre des mots. En effet, comme l'ordre des mots d'une langue montre une corrélation avec le type d'indice acoustique qui porte l'accentuation prosodique (dans les langues VO, l'indice le plus fréquemment utilisé est la durée, tandis que dans les langues OV, ce sont le pitch et l'intensité ; Nespor et al., 2008, Gervain & Werker, 2013), la détection du type d'indice qui marque le contraste prosodique pourrait automatiquement, sans aucune analyse syntaxique, mener à la sélection de l'ordre des mots correspondant. L'intérêt de ce mécanisme est donc qu'il offre un point d'entrée dans la grammaire sans nécessiter des connaissances linguistiques préalables. Il pourrait, par conséquent, servir mêmes les plus jeunes apprenants : les nourrissons préverbaux. Effectivement, les bébés bilingues de 8 mois utilisent les indices acoustiques de la prosodie dans une grammaire artificielle dont la structure est ambiguë entre les deux ordres de mots possibles pour sélectionner l'ordre (Gervain & Werker, 2013). Dans la même tâche de grammaire artificielle, les bébés monolingues francophones, eux aussi, s'appuient sur la prosodie pour identifier l'ordre des mots qui caractérise le français (Bernard & Gervain, 2013).

Etant donné le rôle potentiel du mécanisme de bootstrapping prosodique dans l'acquisition précoce du langage, il est important d'explorer si le mécanisme de groupement prosodique, donc l'ITL, est en place pendant le développement linguistique typique et atypique. Il se peut que les populations atypiques dont la perception auditive de bas niveau est atypique (comme par exemple un sous-groupe d'individus TSA dans l'étude de Bonnel et al., 2010, ou les groupes AV et ANV dans notre Expérience 1) n'aient pas accès au

mécanisme de bootstrapping prosodique, car ils regroupent les indices acoustiques pertinents différemment de la population typique. Si cette hypothèse est confirmée, elle pourrait contribuer à expliquer certains aspects des troubles langagiers des populations atypiques concernées.

Un autre aspect important de ce biais est qu'il semble être modifié par l'expérience linguistique, au moins dans certaines conditions, par exemple pour des stimuli langagiers complexes (Iversen et al., 2008; Bhatara et al., 2013). Pour mieux comprendre le développement linguistique typique aussi bien qu'atypique, il est donc pertinent de savoir si le biais est universel est modifié par l'expérience, et, si oui, comment.

Dans un premier temps, nous nous intéresserons donc au développement typique, et à la perception de l'ITL au cours des âges de la vie (de 10 à 60 ans). En effet, de nombreuses études se sont intéressées au biais iambo-trochaïque chez les nourrissons, et chez l'adulte, et à notre connaissance, aucune étude n'a exploré ce biais chez les enfants d'âge scolaire et les adolescents. Or, comme nous l'avons vu dans l'introduction générale, il semblerait que l'adolescence soit la fin de la période sensible pour ce qui est des aspects morphosyntaxiques du langage. De plus, étant donné que l'ITL définit le corrélat prosodique de l'organisation des mots et des groupes de mots dans un énoncé ou dans une phrase (Bernard & Gervain, 2012; Gervain & Werker, 2013; Nespor et al., 2008), nous pourrions observer des différences de groupement des sons en fonction de l'âge des participants.

Dans un deuxième temps, nous nous intéresserons au développement atypique, et plus particulièrement au cas du trouble du spectre autistique, car le groupe syndrome de Williams n'a pas participé à cette expérience (voir partie 4.3. Participants). Une de nos hypothèses est que la variabilité concernant les capacités de production chez les personnes avec autisme serait expliquée par la variabilité des capacités perceptives de bas niveau. Il est possible que les participants TSA se montrent plus ou moins sensibles que les participants NT et regroupent les séquences de sons différemment de leurs contrôles NT. Par ailleurs, étant donné la variabilité des capacités de production verbale parmi le groupe de participants TSA, nous pourrions observer des différences de groupement en fonction du type d'autisme.

Conformément à la loi iambo-trochaïque (Bhatara et al., 2013; Hayes, 1985, 1995; Nespor et al., 2008), les participants devraient grouper les tons purs variant en durée de manière iambique (*court – long*), et les tons purs variant en intensité ou en pitch de manière

trochaïque (*fort – faible* et *aigu – grave*). De plus, s’il s’avère que les participants TSA sont plus/moins sensibles aux variations acoustiques de la prosodie, nous pourrions observer un effet de l’ITL davantage marqué chez les participants TSA comparativement aux participants NT. Par ailleurs, nous pourrions nous attendre à un effet des seuils de discrimination auditive sur le type de groupement. En effet, les participants ayant les seuils les plus fins pourraient se montrer davantage sensibles aux biais attendus selon l’ITL. Cette hypothèse est valable pour les deux groupes de participants (NT et TSA).

La procédure est inspirée de l’étude de Iversen, Patel, & Ohgushi (2008). Elle vise à déterminer la manière dont les participants perçoivent les variations de rythme (de durée, d’intensité, ou de pitch), et s’ils ont tendance à grouper les paires de sons de façon iambique ou trochaïque.

4.2 Matériel et méthode

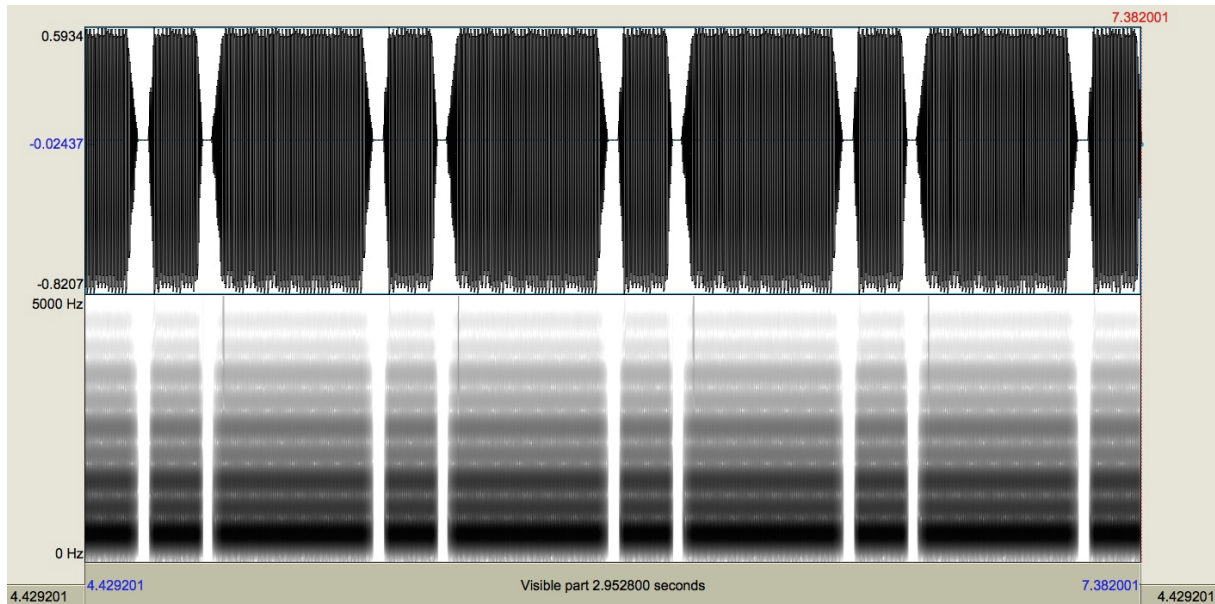
4.2.1 Stimuli

Nous avons synthétisé des séquences de tons purs par le biais de MATLAB, et créé trois conditions, correspondant à chacun des trois indices prosodiques : (1) la durée, (2) l’intensité, et (3) le pitch. Chaque séquence alternait entre un son de référence et un son accentué : soit (1) plus long, soit (2) plus fort, soit (3) plus aigu (Tableau 4-1).

4.2.1.1 Durée

Nous avons choisi deux durées de référence (150 msec et 250 msec), ainsi que trois ratios d’accentuation (1.25, 1.75, et 3). La durée des tons purs accentués était donc respectivement de 187, 262 et 450 msec pour une durée de référence de 150 msec, et de 312, 437 et 750 msec pour une durée de référence de 250 msec. Le pitch (500 Hz) et l’intensité (86,7 dB) étaient constants dans toutes les séquences (voir Figure 4-1 pour illustration).

Figure 4-1 : Spectrogramme illustrant une portion d'une séquence de tons purs variant en durée, utilisée pour l'Expérience 2.



4.2.1.2 Intensité

Nous avons choisi une intensité de référence (81,51 dB), ainsi que deux ratios d'accentuation (1.5 et 3). Etant donnée la définition logarithmique de l'intensité selon l'équation

$$dB = 20 * \log_{10} \frac{I}{I_0},$$

l'intensité des tons purs accentués était donc respectivement de 84,03 et 90,05 dB. La durée (à deux modalités : 150 et 250 msec) était constante dans une séquence donnée. Etant donné que la perception du pitch d'un son est dépendante de l'intensité de ce dernier (Stevens, 1935; cité par Capber, Deguine, & Marx, 2011), nous avons pris soin d'homogénéiser le pitch des tons purs synthétisés pour cette condition en faisant en sorte que le pitch perçu soit toujours de 500 Herz.

4.2.1.3 Pitch

Nous avons choisi deux pitch de référence (500 et 1000 Hz), ainsi que trois ratios d'accentuation (1.25, 1.5 et 2). Le pitch des tons purs accentués était donc respectivement de 625, 750 et 1000 Hz pour un pitch de référence de 500 Hz, et de 1250, 1500 et 2000 Hz pour un pitch de référence de 1000 Hz. La durée (à deux modalités : 150 et 250 msec) et l'intensité (86,7 dB) étaient constantes dans une séquence donnée.

Nous avons choisi de maintenir constante la durée totale de chaque séquence, soit environ 10 secondes. Ainsi, pour le pitch et l'intensité, chaque paire de stimuli ([*accentué – non accentué*] ou [*non accentué – accentué*]) était répétée 30 fois dans les séquences dont la durée de référence était 150 msec, et 19 fois dans les séquences dont la durée de référence était de 250 msec. Pour la durée, chaque paire de stimuli était répétée 28, 23 et 16 fois (pour les ratios 1.25, 1.75 et 3, respectivement) dans les séquences dont la durée de référence était 150 msec ; et 17, 14 et 10 fois (pour les ratios 1.25, 1.75 et 3, respectivement) dans les séquences dont la durée de référence était de 250 msec. A l'intérieur d'une séquence, chaque son était rampé bilatéralement sur 15 msec, et séparé du suivant par un silence de 20 msec.

Tableau 4-1 : Détails des tons purs créés pour l'Expérience 2.

CONDITIONS	<i>Durées de référence</i>	<i>Ratios accentuation</i>	<i>Intensité de référence</i>	<i>Ratios accentuation</i>	<i>Pitch de référence</i>	<i>Ratios accentuation</i>
Durée	150 msec et 250 msec	1.25 1.75 3	86,7 dB		500 Hz	
Intensité	150 msec et 250 msec		81,51 dB	1.5 3	500 Hz	
Pitch	150 msec et 250 msec		86,7 dB		500 Hz et 1000 Hz	1.25 1.5 2

Par ailleurs, nous avons créé deux versions de chacune des séquences selon qu'elles commençaient par un ton pur accentué (type « trochaïque initial »), ou par un ton pur non accentué (type « iambique initial ») pour contrebalancer le groupement naturel des stimuli. De façon à ne pas donner d'indice quant aux premiers et aux derniers sons, chaque séquence était rampée bilatéralement de manière exponentielle sur 2,5 secondes.

4.2.2 Procédure

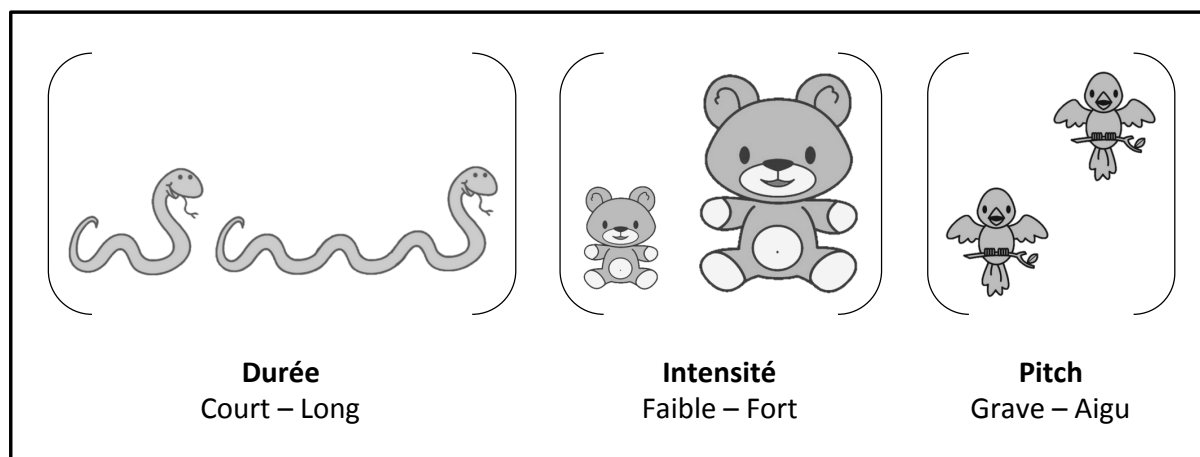
Le paradigme a été programmé à l'aide de PsyScope X (disponible sur le site <http://psy.ck.sissa.it/>). Chaque participant faisait face à un écran sur lequel apparaissaient des animaux par paire : des serpents (petit/grand) symbolisant les variations de durée (court/long), des ours (petit/gros) symbolisant les variations d'intensité (faible/fort), et des oiseaux (en bas/en haut) symbolisant les variations de pitch (grave/aigu) (Figure 4-2). Les deux types de paires apparaissaient simultanément sur l'écran, une à droite et une à gauche, en même temps que les séquences de tons purs. Pour un participant donné, la paire iambique était toujours présentée du même côté pour les trois conditions (design inter-sujets). Tous les participants passaient les trois conditions dans des blocs expérimentaux différents, et l'ordre de passation des trois conditions était randomisé (design inter-sujets). La tâche était de choisir quel type de groupement était répété lors de la présentation des séquences de tons purs (répétition de paires iambiques (*court – long / faible – fort / grave – aigu*) ou répétition de paires trochaïques (*long – court / fort – faible / aigu – grave*), en choisissant la paire d'animaux correspondant, et en appuyant sur la touche du clavier associée (procédure à choix forcé : soit iambique, soit trochaïque).

De plus, étant donnée la position fixe des réponses, nous avons créé des séquences contrôles « neutres » dans lesquelles tous les sons étaient identiques en durée, en intensité et en hauteur, que nous avons inséré, de façon aléatoire, parmi les séquences tests. Ces séquences neutres permettaient de contrôler les stratégies ou biais de réponse des participants.

Ainsi, au total, chaque participant était confronté à 20 séquences dans la condition durée (2 durées de référence × 3 ratios d'accentuation × 2 versions (iambique ou trochaïque) + 8 séquences neutres), 16 séquences dans la condition intensité (2 durées de référence × 2 ratios d'accentuation × 2 versions (iambique ou trochaïque) + 8 séquences neutres), et 32 séquences dans la condition pitch (2 durées de référence × 2 pitch de référence × 3 ratios d'accentuation × 2 versions (iambique ou trochaïque) + 8 séquences neutres). La procédure était précédée d'une phase d'explications en images, illustrant les deux types de groupements pour l'une des trois conditions (la condition dans laquelle le participant était

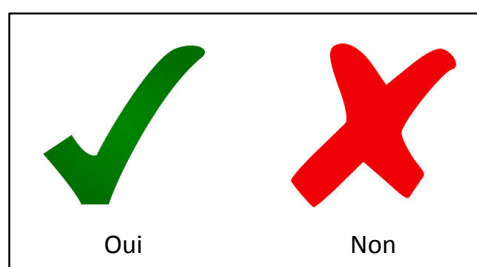
testé en premier), afin de s'assurer que la consigne soit bien comprise. Au besoin, cette phase pouvait être répétée.

Figure 4-2 : Illustration des groupements *iambiques* pour les trois indices prosodiques (durée, intensité et pitch) présentés dans l'Expérience 2.



Par ailleurs, et étant donnée la difficulté qu'ont éprouvé certains participants TSA à réaliser la tâche, nous avons construit une procédure alternative, plus simple, quelque peu différente. Pour cette dernière, le participant ne faisait face qu'à une seule paire d'animaux à la fois (soit iambique, soit trochaïque), et devait indiquer si la séquence entendue correspondait au dessin représenté sur l'écran ou non, en appuyant sur le bouton correspondant (oui *versus* non, voir Figure 4-3). La position des boutons réponses était toujours la même pour un participant donné, mais contrebalancée entre les participants (design inter-sujets). Par ailleurs, dans cette procédure, chaque item test était présenté deux fois (une fois avec chacune des paires iambique et trochaïque) ; de ce fait, et étant donné le nombre plus important de stimuli dans cette alternative, nous n'avons pas inclus de séquences contrôles (paires neutres).

Figure 4-3 : Illustration des réponses « Oui » et « Non » pour la procédure alternative de l'Expérience 2.



Pour les passations expérimentales réalisées en laboratoire, les participants étaient assis confortablement dans une pièce silencieuse, et les stimuli étaient présentés via PsyScope X, sur un MacBook Air portable, à l'aide d'un casque Sennheiser HD449. Pour les passations expérimentales réalisées dans les écoles ou à domicile, le matériel était identique, et les enfants étaient assis confortablement dans une pièce isolée des salles de classe, de la cour de récréation ou de toute autre source de bruit. L'ensemble de l'Expérience 2 durait approximativement 15 minutes.

4.3 Participants

Cette expérience s'est avérée particulièrement compliquée pour les jeunes enfants. En effet, le groupement de tons purs, contrairement au groupement de syllabes où les stimuli peuvent être prononcés et donc où une réponse verbale est possible sans devoir évoquer des concepts comparatifs (plus long, plus court, plus aigu, plus grave, etc. voir Chapitre 5), est très abstrait et la consigne difficile à saisir. De ce fait, cette expérience n'a pas été réalisée auprès des participants SW, et le nombre de participants dans chacun des groupes restants (NT et TSA) est moindre comparativement aux Expériences 1, 3 et 4.

4.3.1 Participants NT

91 (34 filles) enfants, adolescents et adultes, francophones, neurotypiques, âgés de 5 ans 2 mois à 60 ans 2 mois, ont participé à l'Expérience 2. Etant donnée la difficulté rencontrée chez les enfants préscolaires et scolaires pour réaliser la tâche (deux des enfants de 5 ans n'ont passé que deux des trois conditions : durée et intensité pour l'un, intensité et pitch pour l'autre), nous avons choisi d'exclure les 11 enfants âgés de moins de 11 ans, afin de ne garder que les groupes d'âge de 11 à 14 ans, 15 à 17 ans, 18 à 30 ans, et 31 à 60 ans,

qui avaient, pour sûr, compris la tâche. De ce fait, 80 participants (27 filles) âgés de 12 ans 2 mois à 60 ans 2 mois (âge moyen : 24 ans 1 mois) ont été inclus dans les analyses relatives à l'Expérience 2 ; tous ont passé les trois conditions (durée, intensité, et pitch).

4.3.2 Participants TSA

54 (14 filles) enfants, adolescents et adultes, francophones, présentant un trouble du spectre autistique ont participé à l'Expérience 2, essentiellement des participants des groupes syndrome Asperger (45) et autisme verbal (9). Les autres participants n'ont soit pas compris la consigne, soit pas voulu participer à cette expérience. Etant donnée les difficultés qu'ont eu les deux plus jeunes participants (4 ans 7 mois et 7 ans 10 mois, groupe syndrome d'Asperger) à réaliser la tâche, leurs données n'ont pas été intégrées aux analyses. Au final, 52 participants TSA (13 filles) âgés de 10 ans 11 mois à 54 ans 3 mois (âge moyen : 23 ans 3 mois) ont été inclus dans les analyses relatives à l'Expérience 2 ; tous ont passé les trois conditions (durée, intensité, et pitch).

4.4 Résultats

Dans les analyses suivantes, nous allons examiner les groupements iambo-trochaïques de tons purs variant soit en durée, soit en intensité, soit en pitch. Nous analyserons les réponses de nos deux groupes de participants (NT et TSA) individuellement, puis nous les comparerons entre eux. Aussi, nous analyserons comment ces réponses peuvent être modifiées en fonction de l'âge des participants, et, pour les participants TSA, en fonction de leur type d'autisme. Enfin, nous étudierons si les seuils de discrimination auditive peuvent avoir un effet sur la manière dont les participants (typiques ou atypiques) groupent les tons purs.

4.4.1 Participants NT

Les résultats des trois tâches sont présentés dans la Figure 4-4 pour la grande moyenne, et dans la Figure 4-5 pour la distribution des réponses individuelles. Les figures montrent le pourcentage de réponses correctes selon l'ITL (iambiques pour la durée et trochaïques pour l'intensité et le pitch).

Figure 4-4 : Pourcentage de réponses correctes (iambiques pour la durée, trochaïques pour l'intensité et le pitch), selon la condition, pour l'ensemble des participants NT de l'Expérience 2.

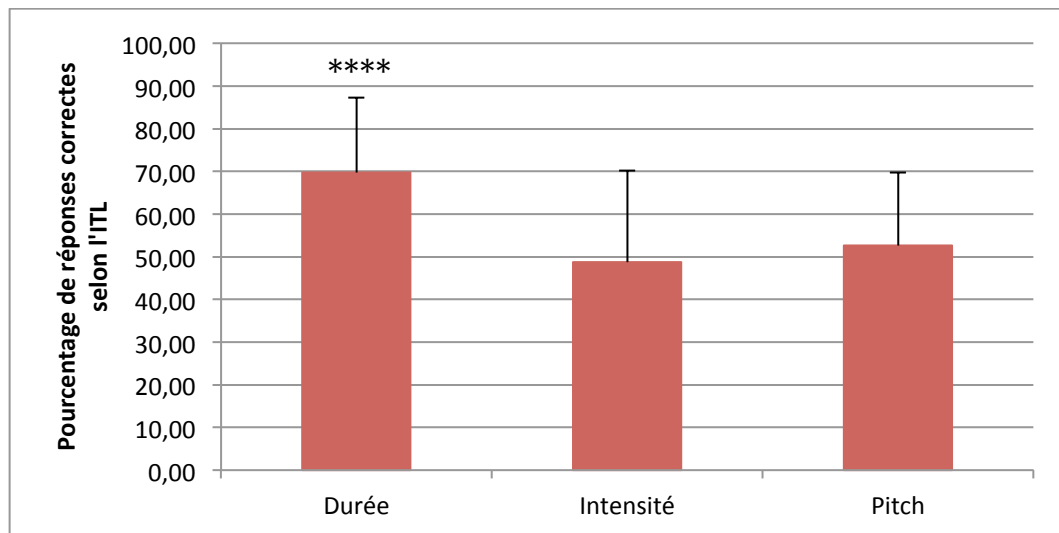
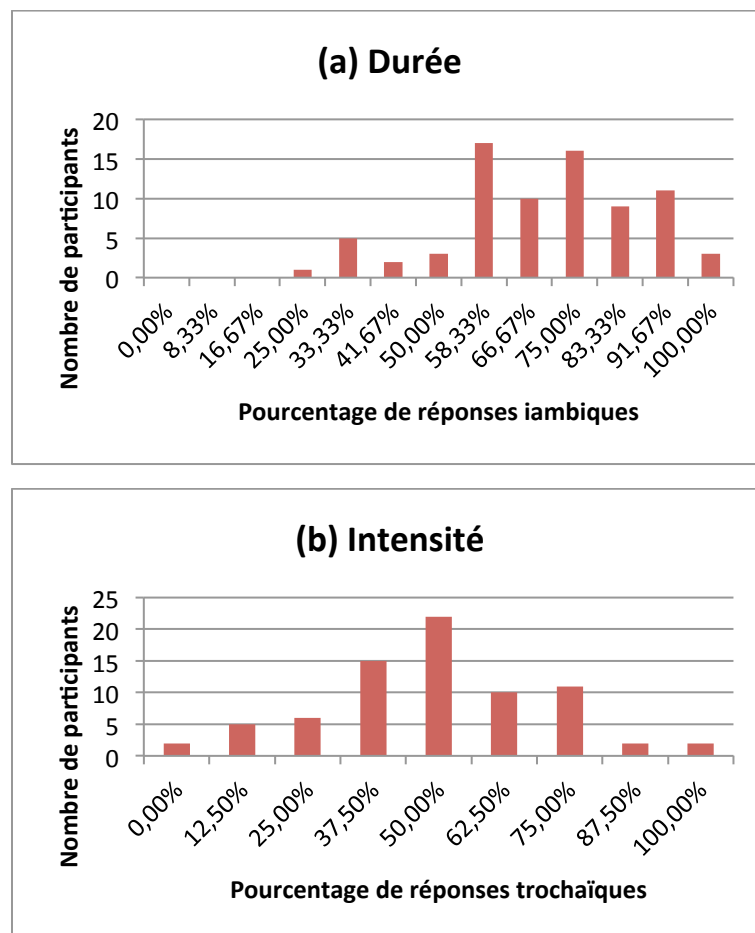
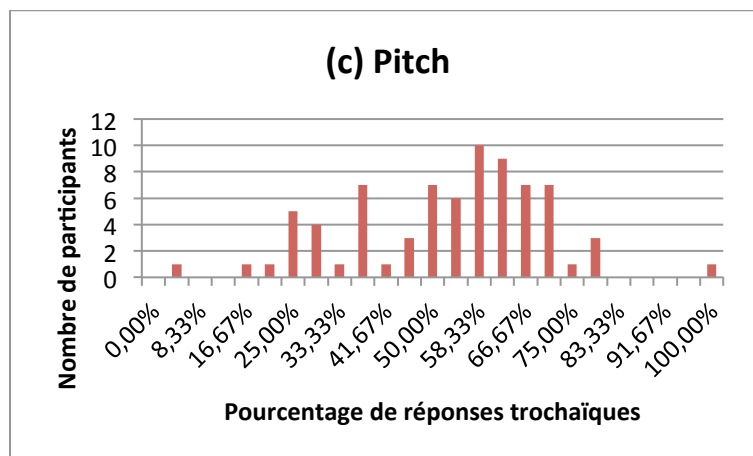


Figure 4-5 : Distribution des réponses individuelles pour chacune des trois condition (a) Durée, (b) Intensité et (c) Pitch, pour l'ensemble des participants NT de l'Expérience 2.





Dans les sections suivantes, nous nous intéresserons dans un premier temps aux groupements iambo-trochaïques de tons purs selon la condition. Puis, dans un second temps, nous analyserons un à un les facteurs qui peuvent jouer un rôle dans le groupement (l'ordre de présentation des conditions, le type de séquence, le bouton réponse, le ratio, et l'âge).

4.4.1.1 Analyse des groupements iambo-trochaïques (analyse principale)

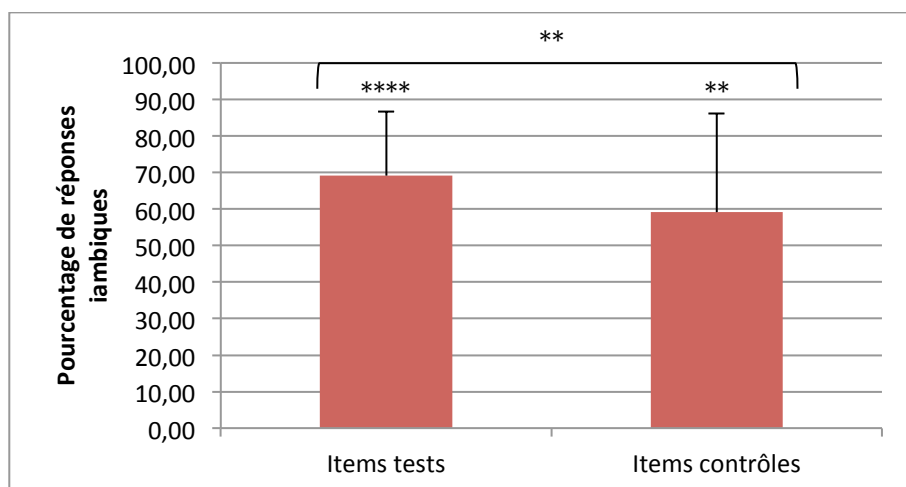
Afin de vérifier si le pourcentage de réponses correctes est fonction de la condition dans notre population NT, nous avons réalisé une ANOVA à mesures répétées, avec comme facteur intra-sujets la condition à trois modalités (durée, intensité, et pitch). Les résultats révèlent un effet principal de la condition ($F(1.83, 79) = 28.12$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .26$) : les participants NT donnent significativement plus de bonnes réponses pour la durée (iambique) que pour l'intensité (trochaïque) (Sidak post-hoc, $p < .0001$) et le pitch (trochaïque) (Sidak post-hoc, $p < .0001$), mais ne donnent pas plus de bonnes réponses pour l'intensité (trochaïque) que pour le pitch (trochaïque).

Par ailleurs, afin de vérifier si le biais iambique s'applique pour la durée, et le biais trochaïque pour l'intensité et le pitch, dans notre population NT, nous avons réalisé des tests de Student sur le nombre de réponses correctes par rapport au hasard (50%), pour chacune des trois conditions (durée, intensité, et pitch). Les résultats révèlent que les participants NT ont tendance à percevoir significativement plus les tons purs variant en durée de façon iambique ($m = 69.74$, $s = 17.61$) comparativement au hasard ($t(79) = 10.03$, $p < .0001$). Aucun

autre résultat n'atteint la significativité : le pourcentage de groupements trochaïques ne semble pas différer du hasard pour l'intensité ($m = 48.67$, $s = 21.53$) et le pitch ($m = 52.88$, $s = 17.13$).

De plus, afin de vérifier que ce biais pour la durée soit bien lié à une réelle préférence pour les items tests iambiques et ne s'applique pas aux items contrôles (sans variation de durée), nous avons réalisé un test de Student sur le pourcentage de réponses iambiques pour les items contrôles (paires neutres) par rapport au hasard (50 %), ainsi qu'un test de Student sur le pourcentage de réponses iambiques pour les items tests par rapport au pourcentage de réponses iambiques pour les items contrôles. Les résultats révèlent que les participants NT ont tendance à percevoir les items contrôles de façon iambique ($t(73) = 2.91$, $p = .005$), mais perçoivent davantage les items tests de façon iambique que les items contrôles ($t(73) = 2.66$, $p = .01$) (Figure 4-6). Ainsi, la préférence iambique observée dans cette condition pourrait être liée d'une part à un biais iambique (une tendance naturelle à grouper les sons de façon iambique, qu'il y ait ou non une variation dans la durée de ces derniers), et d'autre part à une préférence de groupement iambique lorsque les tons purs varient véritablement en durée.

Figure 4-6 : Pourcentage de groupements iambiques selon le type d'items (tests ou contrôles), pour la durée, pour l'ensemble des participants NT ayant passé la procédure standard de l'Expérience 2.



Dans les conditions intensité et pitch, la préférence pour les items contrôles n'était pas significativement différente du hasard ($t_{intensité}(73) = -1.46$, $p = .15$; $t_{pitch}(73) = 1.00$, $p =$

.32) et la différence entre les items tests et les items contrôles n'était pas non plus significative ($t_{intensité}(73) = -1.03$, $p = .31$; $t_{pitch}(73) = -.18$, $p = .86$).

4.4.1.2 Analyse des réponses selon l'ordre de présentation des conditions

Comme la réponse attendue est iambique dans la condition de durée, mais trochaïque dans les deux autres conditions, il se peut que les participants choisissent une stratégie (un type de groupement) dans la première condition qu'ils passent, et transfèrent cette stratégie aux conditions suivantes, provoquant ainsi des biais de réponse liés à l'ordre de présentation. De façon à évaluer la contribution éventuelle de l'ordre de présentation des conditions sur le groupement iambo-trochaïque des tons purs chez les participants NT, nous avons réalisé des ANOVAs univariées avec comme facteur fixe l'ordre de présentation à trois modalités (en première position, en deuxième, et en troisième), pour chacune des trois conditions (durée, intensité, et pitch).

Aucun résultat n'atteint la significativité (pour la durée : $F(2, 77) = 1.08$, $p = .35$, $\eta^2_p = .03$; pour l'intensité : $F(2, 77) = .12$, $p = .88$, $\eta^2_p = .003$; et pour le pitch : $F(2, 77) = 1.23$, $p = .30$, $\eta^2_p = .03$) : quel que soit l'ordre de présentation des conditions, le pourcentage de réponses correctes (*iambiques* pour la durée, et *trochaïques* pour l'intensité et le pitch) ne varie pas.

4.4.1.3 Analyse des réponses selon le type de séquence

De façon à évaluer la contribution éventuelle du type de séquence (commençant par une paire iambique ou une paire trochaïque) sur le groupement iambo-trochaïque des tons purs chez les participants NT, nous avons réalisé des ANOVAs univariées avec comme facteur fixe le type de séquence à deux modalités (iambique et trochaïque), pour chacune des trois conditions (durée, intensité, et pitch).

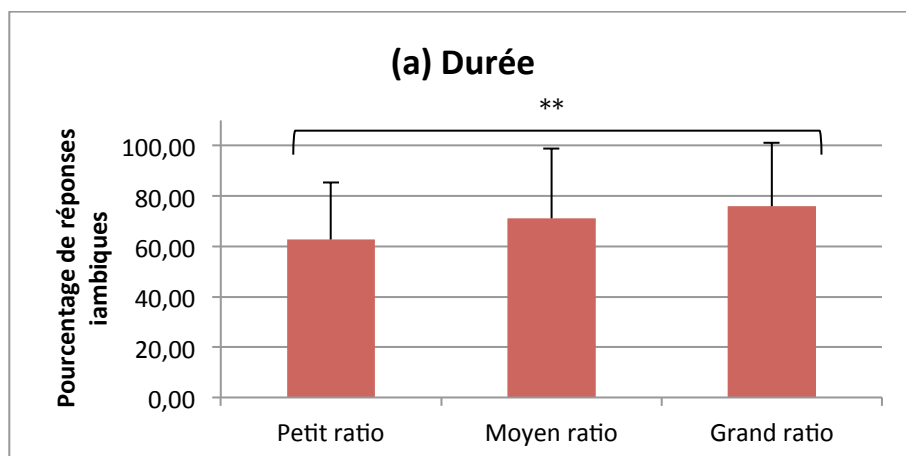
Aucun résultat n'atteint la significativité (pour la durée : $F(1, 79) = .23$, $p = .88$, $\eta^2_p = .0003$; pour l'intensité : $F(1, 79) = .13$, $p = .72$, $\eta^2_p = .002$; et pour le pitch : $F(1, 79) = .001$, $p = .98$, $\eta^2_p = .000007$) : quel que soit le type de liste, le pourcentage de réponses correctes (*iambiques* pour la durée, et *trochaïques* pour l'intensité et le pitch) ne varie pas.

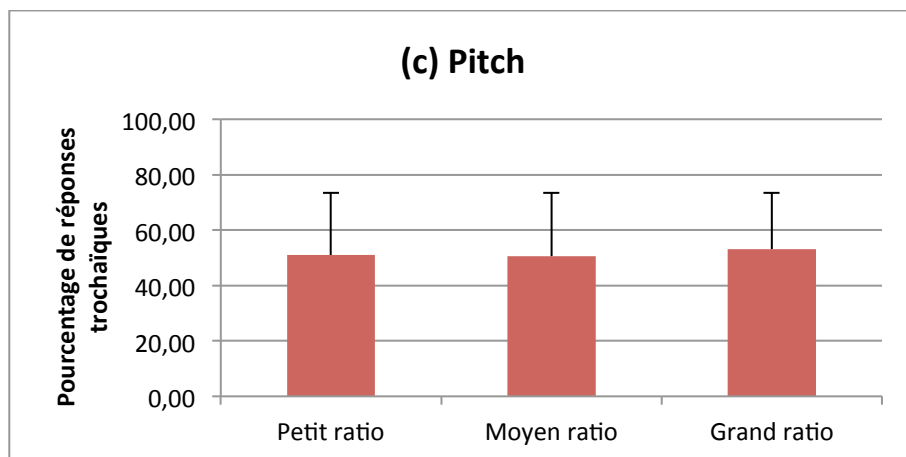
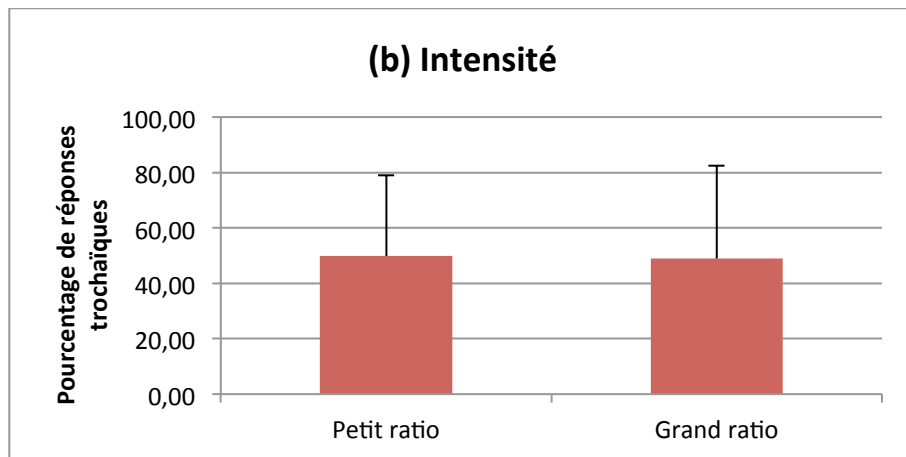
4.4.1.4 Analyse des réponses selon le ratio

De façon à évaluer la contribution éventuelle du ratio utilisé pour le contraste sur le groupement iambo-trochaïque des tons purs chez les participants NT, nous avons réalisé des ANOVAs à mesures répétées avec comme facteur intra-sujets le ratio à trois modalités (petit, moyen, et grand) pour deux conditions (durée et pitch), et à deux modalités (petit et grand) pour une condition (intensité).

Les résultats révèlent un effet principal du ratio pour la durée uniquement ($F(2, 80) = 7.47$, $p = .001$, $\eta^2_p = .09$) : le pourcentage de groupements iambiques de tons purs variant en durée est significativement plus important lorsque le ratio d'accentuation est grand que lorsqu'il est petit (Sidak post-hoc, $p = .002$) (Figure 4-7-a). Aucun autre effet n'atteint la significativité (pour l'intensité : $F(1, 74) = 1.20$, $p = .28$, $\eta^2_p = .02$; et pour le pitch : $F(2, 80) = .55$, $p = .58$, $\eta^2_p = .007$) : le groupement de tons purs variant en intensité ou en pitch est identique quel que soit le ratio d'accentuation.

Figure 4-7 : Pourcentage de groupements iambiques et trochaïques selon le ratio d'accentuation des tons purs, pour (a) la durée, (b) l'intensité, et (c) le pitch, pour l'ensemble des participants NT de l'Expérience 2.





4.4.1.5 Analyse des réponses selon l'âge

Nous avons réalisé des analyses de régression afin de déterminer la contribution éventuelle de l'âge sur le groupement iambo-trochaïque des tons purs chez les participants NT. Pour chacune des trois conditions, nous avons donc réalisé une régression linéaire simple, avec le pourcentage de réponses correctes (iambique pour la durée, trochaïque pour l'intensité et le pitch) comme variable dépendante, et l'âge comme prédicteur, pour l'ensemble des participants NT.

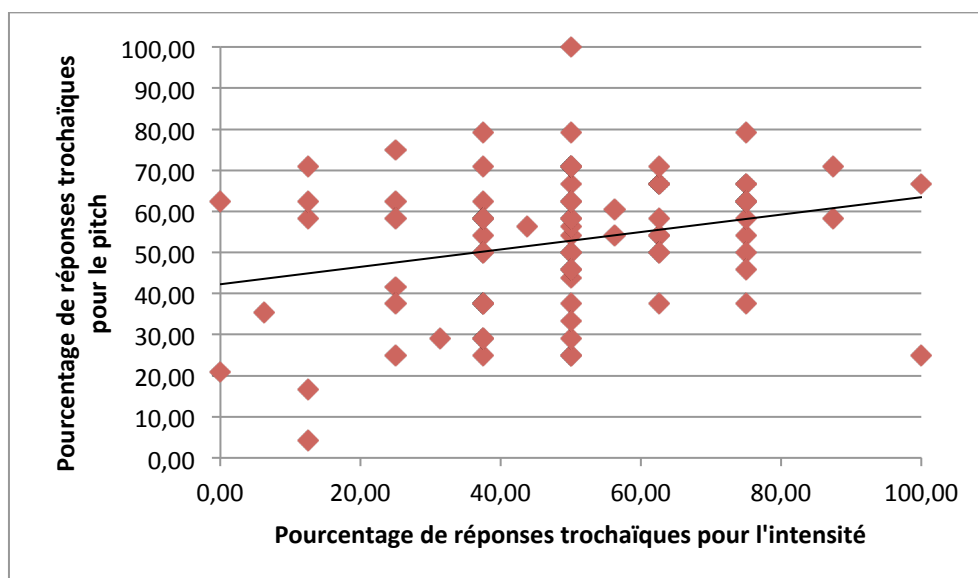
Les résultats montrent que l'âge n'explique pas la variance du pourcentage correct de groupements de tons purs, et ce pour les trois conditions (pour la durée : $R^2 = .001$, $F(1, 78) = .09$, $p = .76$; pour l'intensité : $R^2 = .004$, $F(1, 78) = .28$, $p = .59$; et pour le pitch : $R^2 = .005$, $F(1, 78) = .37$, $p = .55$).

4.4.1.6 Comparaison des conditions

Pour analyser la variabilité interindividuelle et pour comprendre si les résultats nuls dans les conditions intensité et pitch sont dus à des distributions bimodales donnant une moyenne de 50% au niveau du groupe, mais correspondant à des préférences fortes au niveau individuel, nous avons réalisé des tests de normalité de Kolmogorov-Smirnov pour chacune des trois conditions. Chaque test de Kolmogorov-Smirnov est statistiquement significatif ($D_{\text{durée}} = .15$, $p = .001$; $D_{\text{intensité}} = .25$, $p < .0001$; et $D_{\text{pitch}} = .12$, $p = .009$), indiquant des distributions différentes de la normale. Mais comme la Figure 4-5 (a, b, c) le montre, les distributions ne sont pas bimodales. En fait, il est possible que le grand nombre de participants rende les tests de normalité significatifs. Effectivement, avec des échantillons large, les test de Kolmogorov-Smirnov et Shapiro-Wilk sont significatifs même si les données sont plus ou moins normales (Ghasemi & Zahediasl, 2012; Öztuna, Elhan, & Tüccar, 2006).

De plus, pour examiner si les biais de groupement sont spécifiques à chaque individu ou si les trois dimensions sont plutôt indépendantes pour chaque individu, nous avons réalisé des corrélations entre réponses dans les trois indices acoustiques. Les résultats révèlent une corrélation moyenne et significative entre le pourcentage de réponses correctes (*trochaïques*) pour le groupement de tons purs variant en intensité, et le pourcentage de réponses correctes (*trochaïques*) pour le groupement de tons purs variant en pitch ($r = .27$, $p = .02$). De ce fait, il semblerait que plus les participants répondent trochaïquement pour l'intensité, plus ils répondent trochaïquement pour le pitch (Figure 4-8). Autrement dit, lorsqu'il existe un biais trochaïque dans la condition intensité, ce dernier semble influencer la manière de grouper les tons purs variant en pitch (et réciproquement). Par ailleurs, aucune corrélation significative n'est retrouvée entre la durée et l'intensité ($r = -.20$, $p = .08$), ni entre la durée et le pitch ($r = -.09$, $p = .41$).

Figure 4-8 : Pourcentage de réponses correctes pour le groupement de tons purs variant en pitch (trochaïques) en fonction du pourcentage de réponses correctes pour le groupement de tons purs variant en intensité (trochaïques), pour l'ensemble des participants NT de l'Expérience 2.

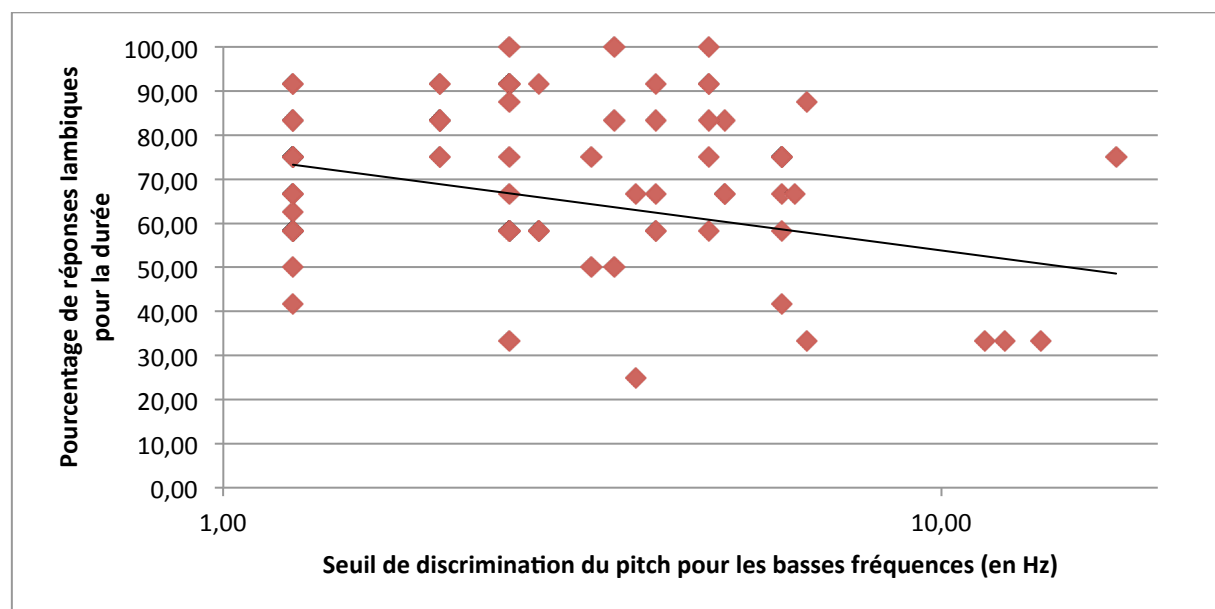


4.4.1.7 Analyse des réponses selon les seuils de discrimination auditive

En se basant sur l'hypothèse que les participants ayant les seuils les plus fins pourraient avoir une préférence plus marquée dans le groupement de tons purs, nous avons réalisé des analyses de corrélations et de régressions pour déterminer si les seuils de discrimination de la durée, du pitch de basses fréquences, et du pitch de hautes fréquences, étaient liés au groupement iambo-trochaïque de tons purs variant en durée, en intensité, ou en pitch. Dans le cas où plusieurs variables étaient corrélées à la variable prédite (pourcentage de groupement iambo-trochaïque), nous avons réalisé un modèle de régression linéaire multiple pas-à-pas, avec le groupement iambo-trochaïque de tons purs comme variable dépendante, et les trois seuils de discrimination comme prédicteurs, pour l'ensemble des participants NT, et pour chacune des trois conditions. L'objectif de cette démarche était d'introduire successivement les deux ou trois variables potentiellement prédictrices (seuil pour la durée, seuil pour les basses fréquences, et seuil pour les hautes fréquences) de telle sorte que la significativité des variables explicatives soit testée au fur et à mesure de leur ajout dans l'équation. Ainsi, les variables qui n'apportent pas de contribution significative à la variable dépendante (ici le groupement iambo-trochaïque) sont éliminées. Dans le cas où une seule variable était corrélée à la variable prédite, nous avons réalisé un modèle de régression linéaire simple.

Les résultats révèlent une corrélation significative, moyenne et négative, entre le groupement de tons purs variant en durée, et le seuil pour le pitch de basses fréquences ($r = -.25$, $p = .03$) : meilleurs sont les seuils de discrimination pour le pitch de basses fréquences des participants NT, plus ils vont grouper de façon iambique les tons purs variant en durée (Figure 4-9). La régression linéaire simple conduit alors à un modèle significatif ($F(1, 78) = 5.26$, $p = .03$) dans lequel le seuil de discrimination du pitch pour les basses fréquences explique une part moyenne ($R^2 = 6\%$) de la variance du groupement iambique de tons purs variant en durée chez les participants NT. Aucune autre corrélation n'atteint la significativité ($p > .16$).

Figure 4-9 : Pourcentage de réponses correctes (iambiques) pour le groupement de tons purs variant en durée, en fonction du seuil de discrimination obtenu pour le pitch de basses fréquences, pour l'ensemble des participants NT de l'Expérience 2.



⇒ RESULTATS DES PARTICIPANTS NT : RESUME

Par le biais d'une procédure inspirée de l'étude de Iversen, Patel, & Ohgushi (2008) nous avons exploré la perception de l'ITL chez des enfants, adolescents, et adultes neurotypiques francophones. Le but de cette tâche était de déterminer de quelle manière les individus typiques groupent des séquences de tons purs variant en durée, en intensité, ou en pitch, et si et comment la perception de ces indices prosodiques évolue au cours du développement.

Nos résultats montrent, d'une part, que les participants neurotypiques francophones groupent préférentiellement les séquences variant en durée de façon iambique, mais nous ne montrons pas qu'ils groupent davantage les séquences variant en intensité ou en pitch de façon trochaïque (ni iambique). D'autre part, il apparaît que cette perception est stable entre 11 et 60 ans. Par ailleurs, il semblerait que les participants qui présentent un biais trochaïque pour l'intensité présentent également un biais trochaïque pour le pitch, et réciproquement. Dans le Chapitre 7, nous verrons quels facteurs peuvent expliquer cette corrélation. Enfin, nos résultats suggèrent un lien entre les capacités de discrimination du pitch pour les basses fréquences, et le groupement de tons purs variant en durée : meilleurs sont les participants à discriminer le pitch, et plus ils vont grouper les séquences de façon iambique. Nous discuterons des implications de ces résultats par rapport au développement langagier et les situerons dans la littérature des études existantes dans la Discussion intermédiaire à la fin de ce chapitre.

4.4.2 Participants TSA

Les résultats des trois tâches sont présentés dans la Figure 4-10 pour la grande moyenne, et la Figure 4-11 pour la distribution des réponses individuelles. Les figures montrent le pourcentage de réponses correctes selon l'ITL (*iambiques* pour la durée et *trochaïques* pour l'intensité et le pitch).

Figure 4-10 : Pourcentage de réponses correctes selon la loi iambo-trochaïque pour la durée (réponses iambiques), l'intensité et le pitch (réponses trochaïques), pour le groupement de tons purs, en fonction du type d'autisme, pour l'ensemble des participants TSA de l'Expérience 2.

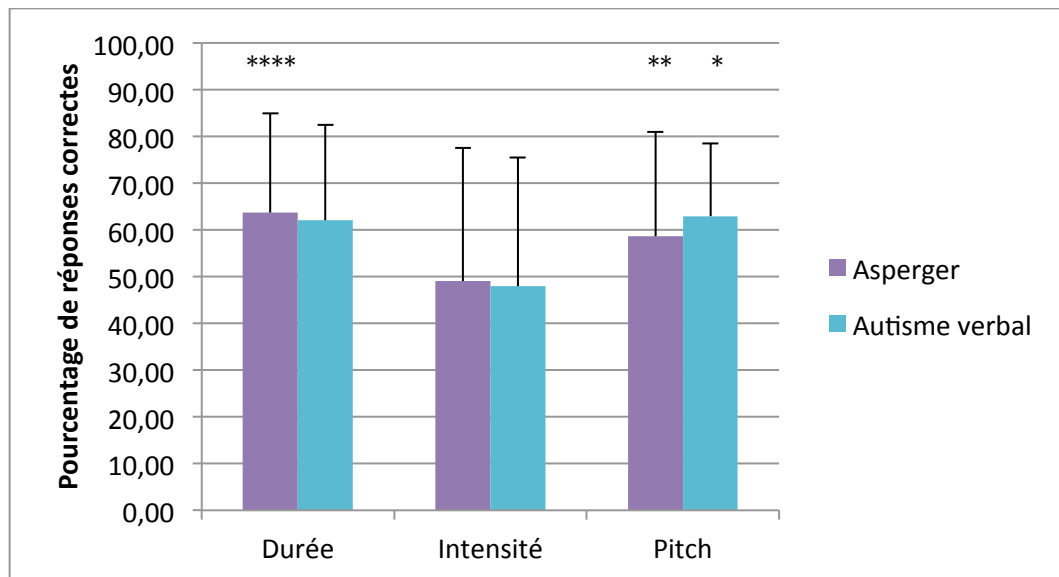
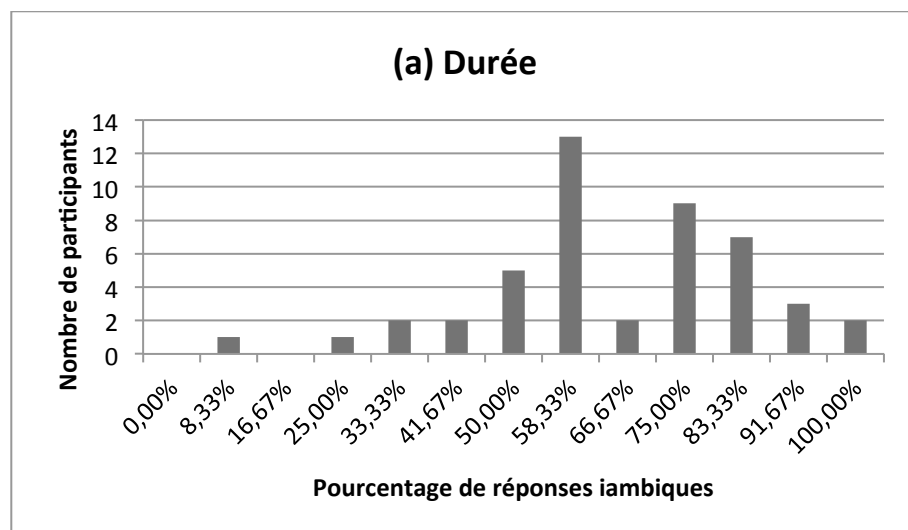
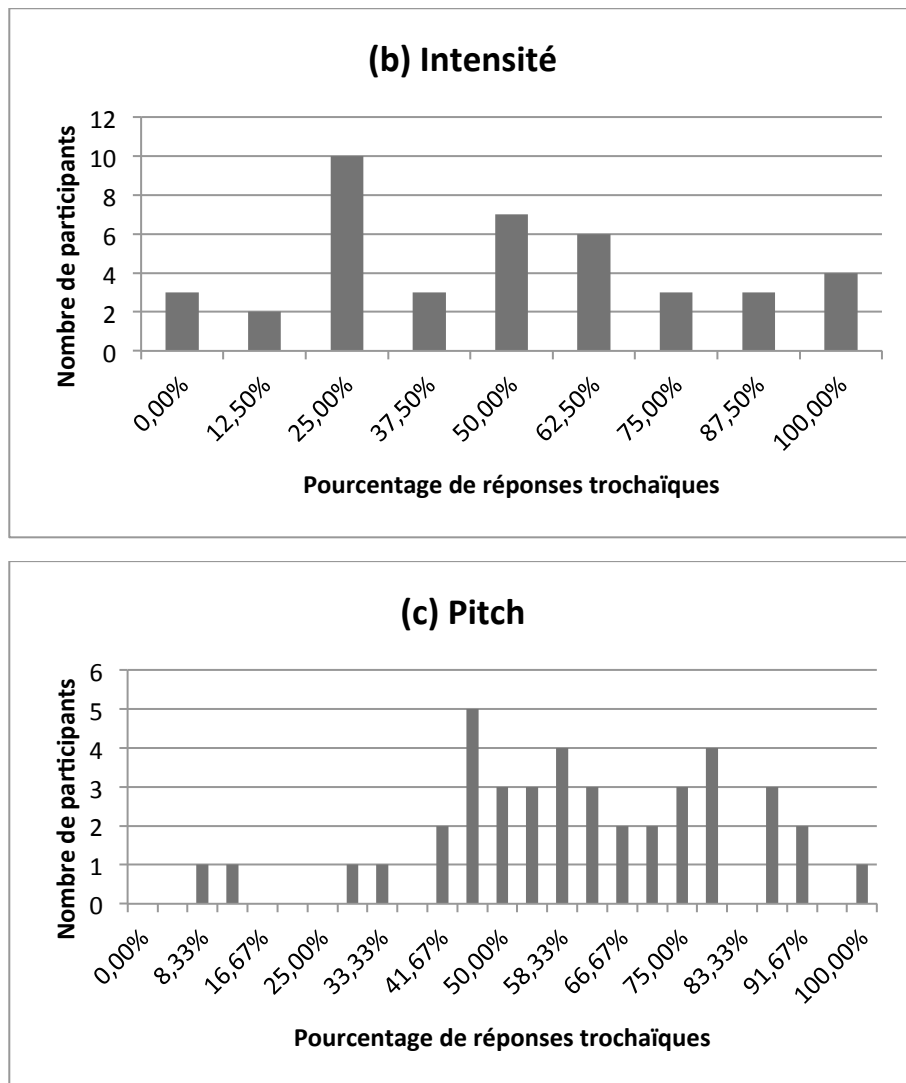


Figure 4-11 : Distribution des réponses individuelles pour chacune des trois condition (a) Durée, (b) Intensité et (c) Pitch, pour l'ensemble des participants TSA de l'Expérience 2.





4.4.2.1 Analyse des groupements iambo-trochaïques (analyse principale)

Afin de vérifier si le pourcentage de réponses correctes est fonction de la condition dans notre population TSA, nous avons réalisé une ANOVA à mesures répétées, avec comme facteur intra-sujets la condition à trois modalités (durée, intensité, et pitch), et comme facteur inter-sujets le type d'autisme à deux modalités (syndrome d'Asperger et autisme verbal). Les résultats révèlent un effet principal de la condition ($F(1.73, 50) = 3.56$, $p = .04$, $\eta^2_p = .07$) : les participants TSA donnent significativement moins de bonnes réponses pour l'intensité (trochaïque) que pour le pitch (trochaïque) (Sidak post-hoc, $p = .04$). Aucun autre effet ni interaction n'atteint la significativité.

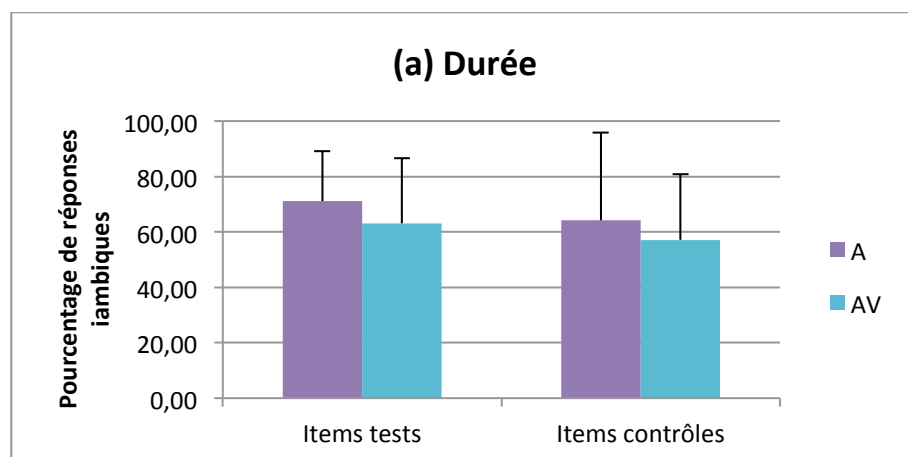
Par ailleurs, afin de vérifier si le biais iambique s'applique pour la durée, et le biais trochaïque pour l'intensité et le pitch, dans notre population TSA, nous avons réalisé des tests de Student sur le nombre de réponses correctes par rapport au hasard (50%), pour chacune des trois conditions (durée, intensité, pitch ; Figure 4-10). Les résultats révèlent que, tous types d'autisme confondus, les participants TSA ont tendance à percevoir significativement plus les tons purs variant en durée de façon iambique ($m = 63.38$, $s = 20.94$) comparativement au hasard ($t(51) = 4.61$, $p < .0001$), et ont tendance à percevoir significativement plus les tons purs variant en pitch de façon trochaïque ($m = 59.38$, $s = 21.28$) comparativement au hasard ($t(51) = 3.18$, $p = .003$). Aucun autre résultat n'atteint la significativité : il ne semble pas y avoir de différence entre le pourcentage de groupements trochaïques par rapport au hasard pour l'intensité ($m = 48.85$, $s = 28.05$). Toutefois, si l'on considère les deux groupes de participants TSA individuellement, il semblerait que seuls les participants du groupe syndrome d'Asperger perçoivent les tons purs variant en durée de façon iambique ($m_A = 63.67$, $s_A = 21.27$; $t(42) = 4.21$, $p < .0001$), et non les participants du groupe autisme verbal ($m_{AV} = 62.04$, $s_{AV} = 20.46$; $t(8) = 1.77$, $p = .12$). En revanche, les deux groupes se comportent de la même manière face aux séquences de tons purs variant en pitch (tous deux les perçoivent de façon trochaïque : $m_A = 58.63$, $s_A = 22.38$; $m_{AV} = 62.96$, $s_{AV} = 15.51$) ou en intensité (aucun des deux ne les perçoit de façon trochaïque : $m_A = 49.05$, $s_A = 28.46$; $m_{AV} = 47.92$, $s_{AV} = 27.60$).

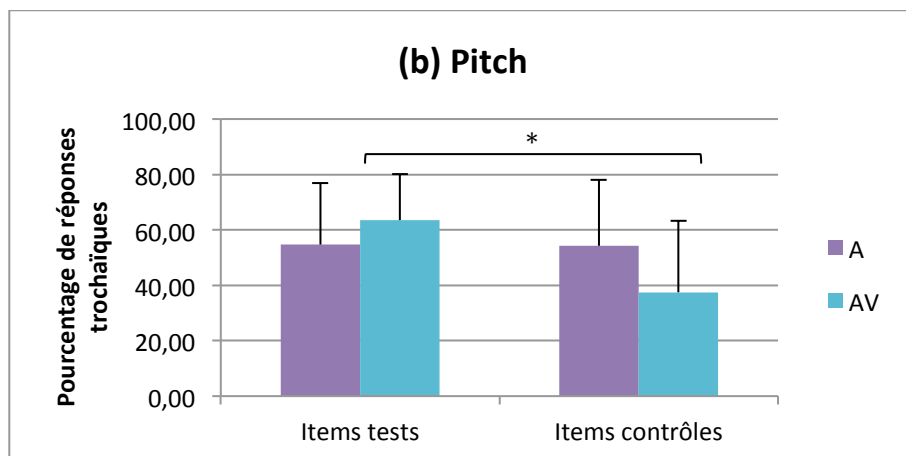
De plus, afin de vérifier que ces biais, pour la durée et le pitch, soient bien liés à une réelle préférence pour les items tests et ne s'appliquent pas aux items contrôles (sans variation de durée ou de pitch), nous avons réalisé un test de Student sur le pourcentage de réponses iambiques/trochaïques pour les items contrôles (paires neutres) par rapport au hasard (50%), ainsi qu'un test de Student sur le pourcentage de réponses iambiques/trochaïques pour les items tests par rapport au pourcentage de réponses iambiques/trochaïques pour les items contrôles. Les résultats révèlent que, dans la condition de la durée, les participants TSA ont tendance à percevoir les items contrôles de façon iambique ($t(29) = 2.29$, $p = .03$), et ne perçoivent pas davantage les items tests de façon iambique que les items contrôles ($t(29) = 1.09$, $p = .28$) (Figure 4-12-a). Ainsi, la préférence iambique observée dans cette condition est liée d'une part à un biais iambique (une tendance à grouper les sons de façon iambique, qu'il y ait ou non une variation dans la durée de ces derniers), et d'autre part à une préférence de groupement iambique lorsque les tons

purs varient véritablement en durée. En revanche, dans la condition du pitch, les participants TSA ne perçoivent pas les items contrôles de façon trochaïque ($t(31) = .00$, $p = 1.00$), mais ne perçoivent pas non plus davantage les items tests de façon trochaïque comparativement aux items contrôles ($t(31) = 1.17$, $p = .25$). Toutefois, il semblerait que les deux groupes de participants TSA ne se comportent pas de la même façon à l'égard des séquences contrôles dans la condition du pitch : en effet, dans cette condition, les participants autisme verbal groupent significativement plus les items tests de façon trochaïques que les items contrôles ($t(7) = 2.59$, $p = .04$), ce qui n'est pas le cas des participants syndrome d'Asperger ($t(23) = .08$, $p = .94$) (Figure 4-12-b). Dans la condition intensité, la préférence pour les items contrôles n'était pas significativement différente du hasard ($t(30) = 1.23$, $p = .23$), et la différence entre les items tests et les items contrôles n'était pas non plus significative ($t(30) = -1.08$, $p = .29$). Toutefois, ces résultats sont à interpréter avec prudence étant donné le nombre restreint de participants dans le groupe TSA autisme verbal.

Ainsi, l'ensemble de ces résultats suggère que, tout comme les participants NT, les participants TSA sont sensibles au type de contraste, et qu'ils transfèrent le groupement aux items neutres, mais uniquement dans la condition de la durée – peut-être parce que les stimuli induisent un biais perceptif, ou plus simplement parce que les participants ont du mal à inhiber leurs réponses.

Figure 4-12 : Pourcentage de groupements iambiques et trochaïques selon le type d'items (tests ou contrôles), pour (a) la durée et (b) le pitch, pour chacun des deux groupes de participants TSA de l'Expérience 2.





4.4.2.2 Analyse des réponses selon l'ordre de présentation des conditions

De façon à évaluer la contribution éventuelle de l'ordre de présentation des conditions sur le groupement iambo-trochaïque des tons purs chez les participants TSA, nous avons réalisé des ANOVAs univariées avec comme facteur fixe l'ordre de présentation à trois modalités (en première position, en deuxième, et en troisième), et comme facteur inter-sujets le type d'autisme à deux modalités (syndrome d'Asperger et autisme verbal), pour chacune des trois conditions (durée, intensité, et pitch).

Pour le pitch, les résultats révèlent un effet de l'ordre de présentation des conditions ($F(2, 47) = 20.31, p = .047, \eta^2_p = .95$). Cet effet est dû au fait que les participants du groupe syndrome d'Asperger groupent significativement plus les tons purs variant en pitch de façon trochaïque lorsque cette condition est présentée en troisième position, que lorsqu'elle est présentée en seconde position (Sidak post-hoc, $p = .04$).

Aucun autre résultat ni interaction n'atteint la significativité : quel que soit l'ordre de présentation des conditions, le pourcentage de réponses correctes pour la durée et l'intensité ne varie pas (pour la durée : $F(2, 47) = .07, p = .93, \eta^2_p = .003$; et pour l'intensité : $F(2, 47) = .01, p = .99, \eta^2_p = .01$).

4.4.2.3 Analyse des réponses selon le type de séquence

De façon à évaluer la contribution éventuelle du type de liste sur le groupement iambo-trochaïque des tons purs chez les participants TSA, nous avons réalisé des ANOVAs univariées avec comme facteur aléatoire le type de liste à deux modalités (commençant par une paire iambique ou trochaïque), et comme facteur inter-sujets le type d'autisme à deux

modalités (syndrome d'Asperger et autisme verbal), pour chacune des trois conditions (durée, intensité, et pitch).

Aucun résultat n'atteint la significativité : quel que soit le type de liste, le pourcentage de réponses correctes (*iambiques* pour la durée, et *trochaïques* pour l'intensité et le pitch) ne varie pas.

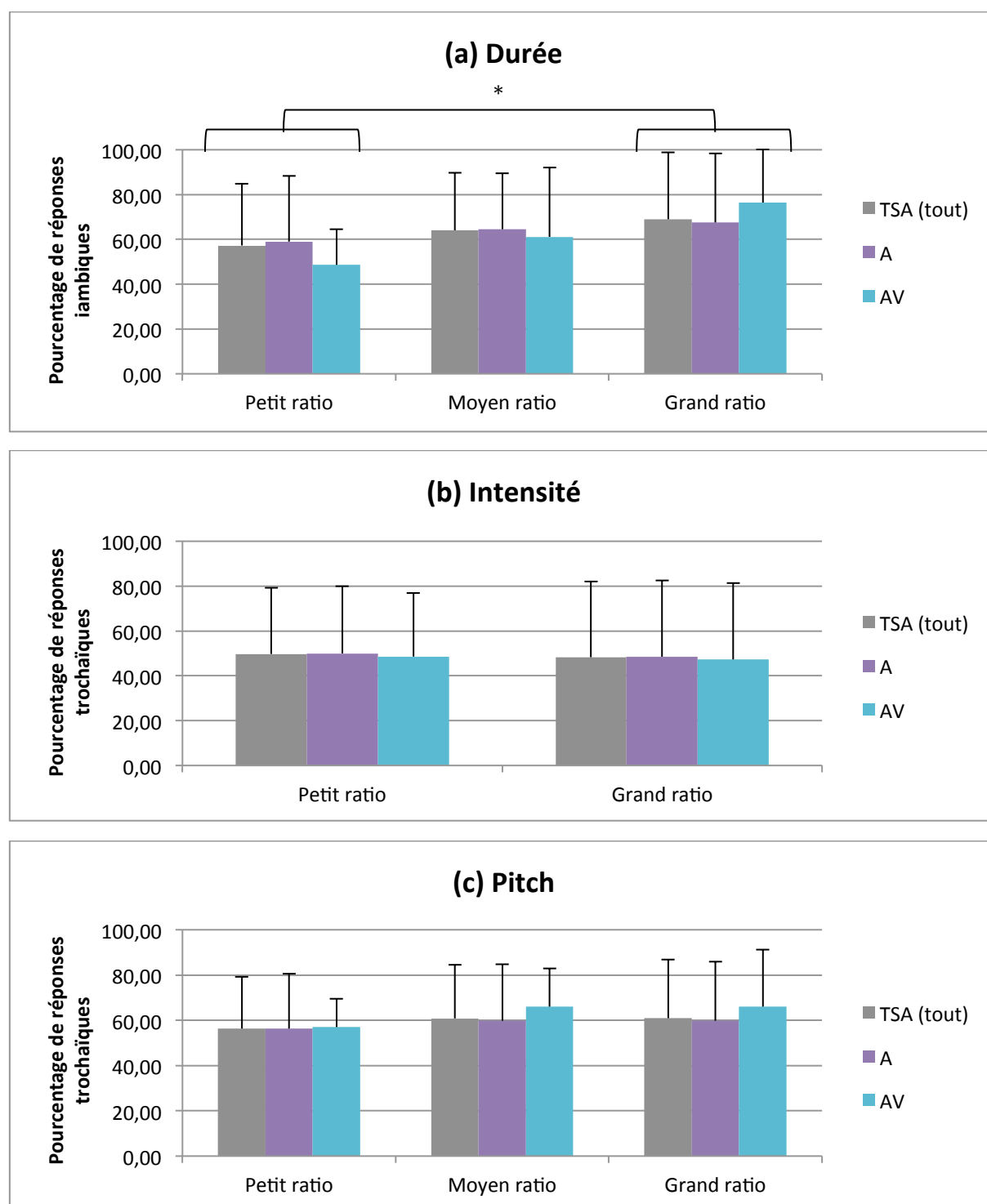
4.4.2.4 Analyse des réponses selon le ratio

De façon à évaluer la contribution éventuelle du ratio d'accentuation des tons purs sur le groupement iambo-trochaïque de ces derniers chez les participants TSA, nous avons réalisé des ANOVAs à mesures répétées avec comme facteur intra-sujet le ratio à deux ou trois modalités (petit, moyen et grand, ou petit et grand), et comme facteur inter-sujets le type d'autisme à deux modalités (syndrome d'Asperger et autisme verbal), pour chacune des trois conditions (durée, intensité, et pitch).

Pour la durée uniquement, les résultats révèlent un effet principal du ratio ($F(1.64, 50) = 4.91, p = .01, \eta^2_p = .09$) : le pourcentage de groupements iambiques de tons purs variant en durée est significativement plus important lorsque le ratio d'accentuation est grand que lorsqu'il est petit (Sidak post-hoc, $p = .04$), et ce quel que soit le type d'autisme (interaction Ratio $\times$ Type non significative : $F(1.64, 50) = 1.44, p = .24, \eta^2_p = .03$) (Figure 4-13-a).

Aucun autre effet ni interaction n'atteint la significativité : le groupement de tons purs variant en intensité ou en pitch est identique quel que soit le ratio d'accentuation, et ce pour les deux groupes de participants TSA.

Figure 4-13 : Pourcentage de groupements iambiques et trochaïques selon le ratio d'accentuation, pour (a) la durée, (b) l'intensité, et (c) le pitch, pour l'ensemble des participants TSA de l'Expérience 2.



4.4.2.5 Analyse des réponses selon l'âge

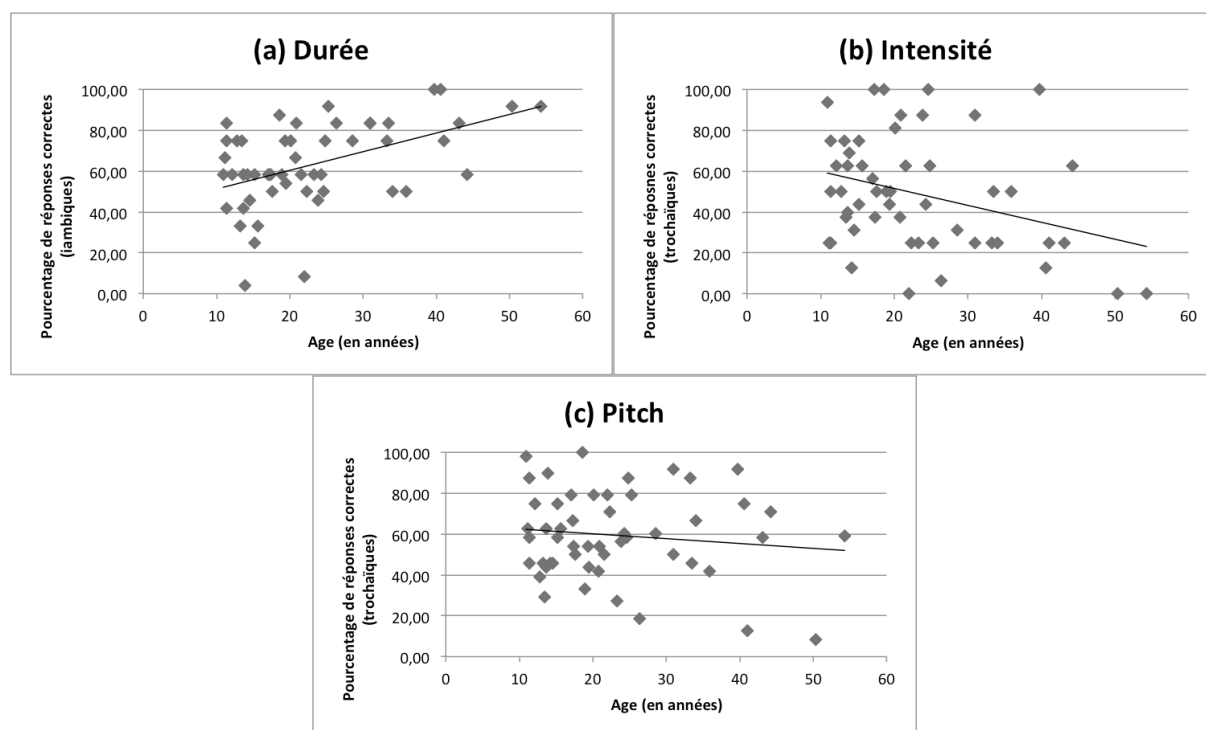
Afin d'évaluer la contribution éventuelle de l'âge des participants TSA sur le groupement iambo-trochaïque des tons purs, nous avons réalisé un modèle de régressions

linéaires simples, pour chacune des trois conditions (durée, intensité, et pitch), d’abord pour l’ensemble des participants TSA, puis pour chacun des deux sous-groupes.

Tous groupes confondus, les résultats montrent que l’âge explique une part importante ($R^2 = 23\%$) de la variance du pourcentage correct de groupements iambiques de tons purs variant en durée ($F(1, 50) = 14.61, p < .0001$) (Figure 4-14-a), une part moyenne ($R^2 = 10\%$) de la variance du pourcentage correct de groupements trochaïques de tons purs variant en intensité ($F(1, 50) = 5.79, p = .02$) (Figure 4-14-b), mais ne semble pas expliquer le type de groupement des tons purs variant en pitch ($F(1, 51) = .76, NS$) (Figure 4-14-c).

Ainsi, plus les participants sont âgés, et plus ils vont grouper les tons purs variant en durée de façon iambique, et moins ils vont grouper les tons purs variant en intensité de façon trochaïque (donc plus ils vont les grouper de façon iambique) (Figure 4-14-b).

Figure 4-14 : Pourcentage de réponses correctes selon la loi iambo-trochaïque pour la durée (réponses iambiques), l'intensité et le pitch (réponses trochaïques), pour le groupement de tons purs, en fonction de l’âge des participants TSA, pour l'Expérience 2.



Toutefois, les régressions linéaires réalisées en séparant chacun des deux sous-groupes de TSA révèlent que les résultats précédents ne sont valables que pour le groupe syndrome d’Asperger, et uniquement dans la condition de durée : chaque type d’autisme

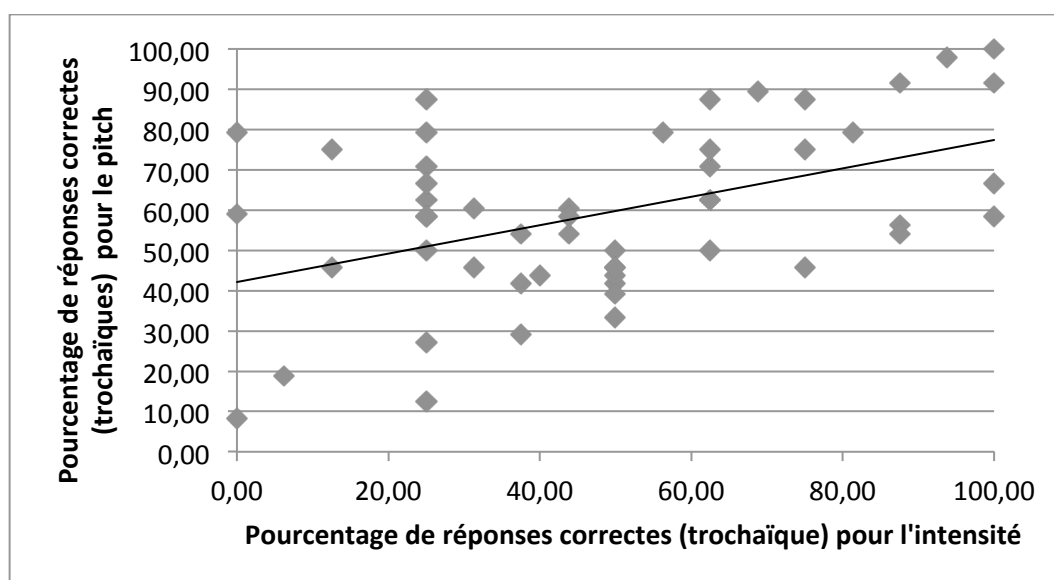
considéré individuellement, l'âge semble expliquer une part importante ($R^2 = 25\%$) de la variance du pourcentage correct de groupements iambiques de tons purs variant en durée chez les participants TSA du groupe syndrome d'Asperger ($F(1, 41) = 13.38, p = .0001$), mais non pour le groupe autisme verbal. De plus, chaque type d'autisme considéré individuellement, l'âge ne semble pas expliquer la variance du pourcentage correct de groupements trochaïques de tons purs variant en intensité, contrairement à ce que laissaient paraître les résultats globaux pour l'ensemble des participants TSA.

4.4.2.6 Comparaison des conditions

Pour analyser la variabilité interindividuelle et pour comprendre si les résultats nuls dans la condition intensité sont dus à des distributions bimodales donnant une moyenne de 50% au niveau du groupe, mais correspondant à des préférences fortes au niveau individuelle, nous avons réalisé des tests de normalité de Kolmogorov-Smirnov pour chacune des trois conditions. Le test de Kolmogorov-Smirnov est statistiquement significatif pour la durée ($D = .13, p = .02$) et pour l'intensité ($D = .17, p = .02$), mais pas pour le pitch, indiquant des distributions différentes de la normale pour la durée et l'intensité, et une distribution normale pour le pitch.

Nous avons également réalisé des analyses de corrélation entre les trois indices. Les résultats révèlent une corrélation forte et significative entre le pourcentage de réponses correctes (*trochaïques*) pour le groupement de tons purs variant en intensité, et le pourcentage de réponses correctes (*trochaïques*) pour le groupement de tons purs variant en pitch ($r = .47, p = .001$). De ce fait, il semblerait que plus les participants TSA répondent trochaïquement pour l'intensité, et plus ils répondent trochaïquement pour le pitch (Figure 4-15). Autrement dit, lorsqu'il existe un biais trochaïque dans la condition intensité, ce dernier semble être lié la manière de grouper les tons purs variant en pitch (et réciproquement). Par ailleurs, aucune corrélation significative n'est retrouvée entre la durée et l'intensité ($r = -.10, NS$), ni entre la durée et le pitch ($r = -.06, NS$).

Figure 4-15 : Pourcentage de réponses correctes pour le groupement de tons purs variant en pitch (trochaïques) en fonction du pourcentage de réponses correctes pour le groupement de tons purs variant en intensité (trochaïques), pour l'ensemble des participants TSA de l'Expérience 2.



4.4.2.7 *Analyse des réponses selon les seuils de discrimination auditive*

En se basant sur l'hypothèse que les participants ayant les seuils les plus fins pourraient avoir une préférence plus marquée dans le groupement de tons purs, nous avons réalisé des analyses de corrélations et de régressions pour déterminer si les seuils de discrimination de la durée, du pitch de basses fréquences, et du pitch de hautes fréquences, étaient liés au groupement iambo-trochaïque de tons purs variant en durée, en intensité, ou en pitch.

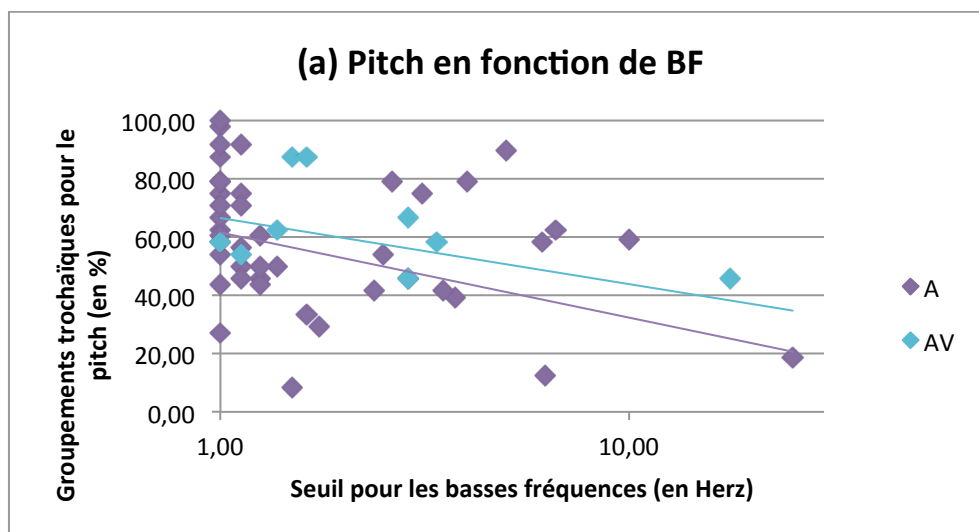
Tous types d'autisme confondus, les résultats révèlent une corrélation significative et négative entre le groupement de tons purs variant en pitch, et le seuil pour le pitch de basses fréquences ($r = -.31$, $p = .03$) : meilleurs sont les seuils de discrimination pour le pitch de basses fréquences des participants TSA, plus ils vont grouper de façon trochaïque les tons purs variant en pitch (Figure 4-16-a). La régression linéaire simple conduit alors à un modèle significatif ($F(1, 50) = 5.23$, $p = .03$) dans lequel le seuil de discrimination du pitch pour les basses fréquences explique une part moyenne ($R^2 = 10\%$) de la variance du groupement trochaïque de tons purs variant en pitch chez les participants TSA.

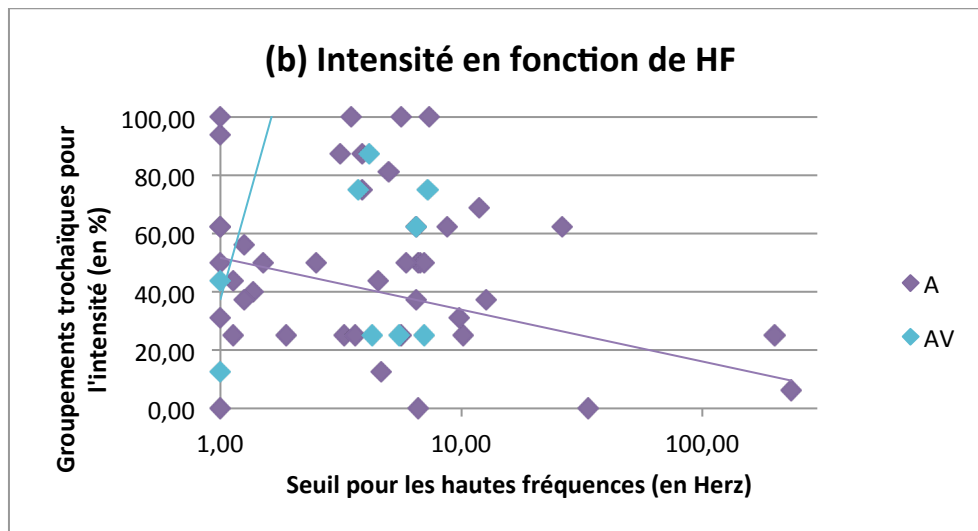
De plus, les résultats révèlent une corrélation marginale et négative entre le groupement de tons purs variant en intensité, et le seuil pour le pitch de hautes fréquences ($r = -.26$, $p = .06$) : meilleurs sont les seuils de discrimination pour le pitch de hautes

fréquences des participants TSA, plus ils vont grouper de façon trochaïque les tons purs variant en intensité (Figure 4-16-b). La régression linéaire simple conduit alors à un modèle marginal ($F(1, 50) = 3.66, p = .06$) dans lequel le seuil de discrimination du pitch pour les hautes fréquences explique une part moyenne ($R^2 = 7\%$) de la variance du groupement trochaïque de tons purs variant en intensité chez les participants TSA. Aucune autre corrélation n'atteint la significativité ($p > .10$).

Toutefois, les analyses de corrélations bivariées réalisées pour chacun des deux groupes de participants TSA révèlent des résultats quelque peu différents. Aucune corrélation significative n'est retrouvée pour le groupe autisme verbal ($p > .10$). En revanche, la corrélation significative entre le groupement de tons purs variant en pitch et le seuil pour le pitch de basses fréquences ($r = -.30, p = .05$), et la corrélation marginale entre le groupement de tons purs variant en intensité et le seuil pour le pitch de hautes fréquences ($r = -.29, p = .06$), sont retrouvées pour le groupe syndrome d'Asperger.

Figure 4-16 : Pourcentage de réponses correctes (trochaïques) (a) pour le groupement de tons purs variant en pitch en fonction du seuil de discrimination obtenu pour le pitch de basses fréquences, et (b) pour le groupement de tons purs variant en intensité en fonction du seuil de discrimination obtenu pour le pitch de hautes fréquences, en fonction du type d'autisme, pour l'ensemble des participants TSA de l'Expérience 2.





⇒ RESULTATS DES PARTICIPANTS TSA : RESUME

Par le biais d'une procédure inspirée de l'étude de Iversen, Patel, & Ohgushi (2008) nous avons exploré la perception de l'ITL chez des enfants, adolescents, et adultes francophones, présentant un trouble du spectre autistique. Le but de cette tâche était de déterminer de quelle manière les individus avec autisme groupent des séquences de tons purs variant en durée, en intensité, ou en pitch, et si et comment la perception de ces indices prosodiques évolue entre 11 et 60 ans.

Nos résultats montrent, que les participants TSA francophones ne se comportent pas de la même façon selon leur type d'autisme. Toutefois, les analyses suivantes sont à interpréter avec précaution étant donné la taille de notre échantillon de participants AV. Seuls les individus ayant le syndrome d'Asperger groupent préférentiellement les séquences variant en durée de façon iambique. En revanche, les deux groupes de participants TSA groupent préférentiellement les séquences variant en pitch de façon trochaïque, mais ne groupent pas davantage les séquences variant en intensité de façon trochaïque (ni iambique). De plus, contrairement aux participants NT, il semblerait que cette perception soit moins stable au cours du développement chez les individus ayant le syndrome d'Asperger (seulement dans la condition de la durée), en se renforçant avec l'âge : pour ce groupe, plus les participants sont âgés, et plus ils vont grouper les tons purs variant en durée de façon iambique. Par ailleurs, comme pour les participants NT, il semblerait que les participants TSA qui présentent un biais trochaïque pour l'intensité présentent également un biais trochaïque pour le pitch, et réciproquement. Dans le Chapitre 7, nous verrons quels

facteurs peuvent expliquer cette corrélation. Enfin, nos résultats suggèrent un lien entre les capacités de discrimination du pitch pour les basses fréquences et le groupement de tons purs variant en pitch, ainsi qu'entre les capacités de discrimination du pitch pour les hautes fréquences et le groupement de tons purs variant en intensité, mais seulement chez les individus ayant le syndrome d'Asperger : meilleurs sont les participants à discriminer le pitch, et plus ils vont grouper les séquences de façon trochaïque.

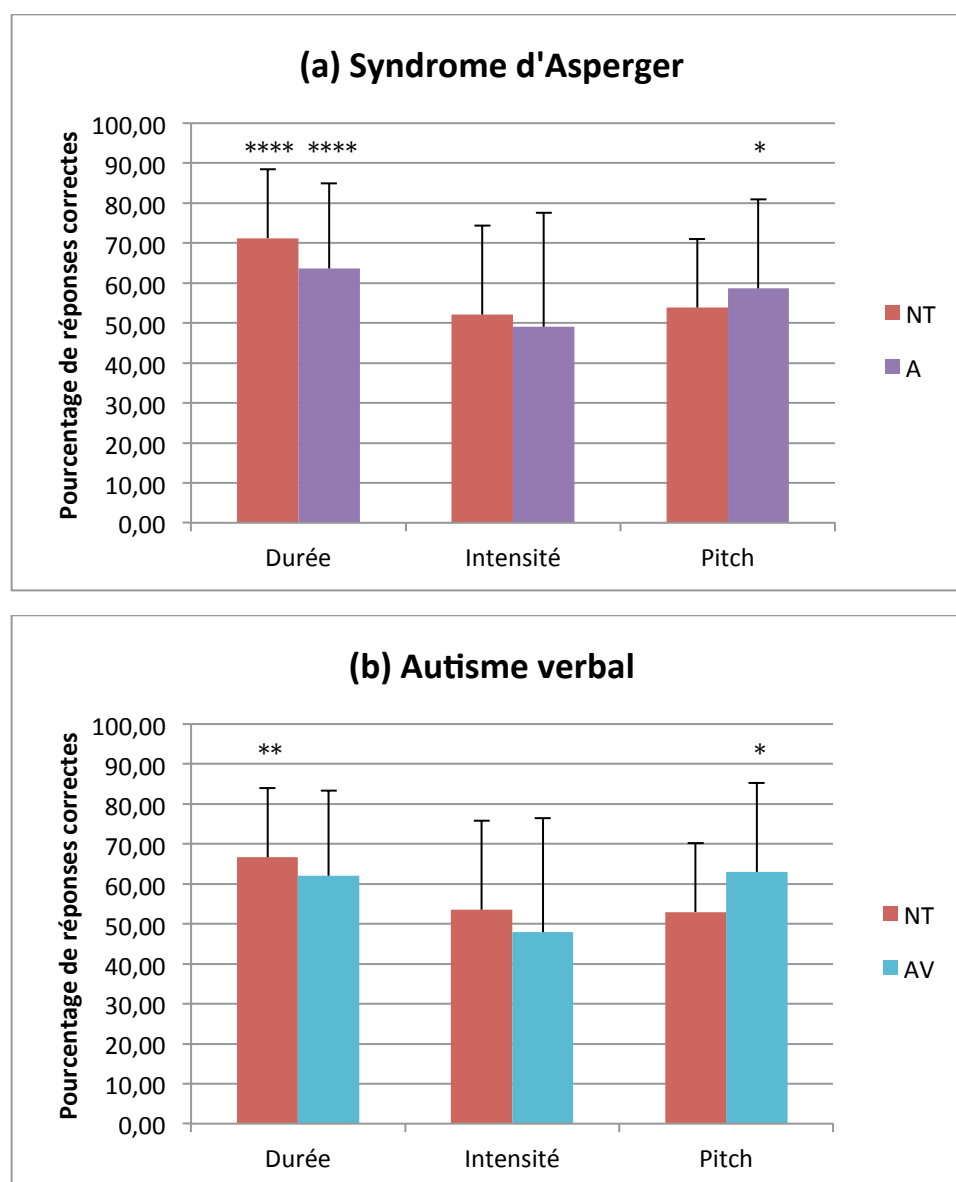
Nous discuterons des implications de ces résultats dans la discussion à la fin de ce chapitre.

4.4.3 Comparaisons entre les groupes

Afin de vérifier si les participants groupent différemment les tons purs selon leur groupe d'appartenance, nous avons réalisé des ANOVAs univariées avec comme facteur inter-sujets le type de participants à deux modalités (typique et atypique), pour chacune des trois conditions (durée, intensité, et pitch), et pour chacun des deux groupes atypiques (syndrome d'Asperger et autisme verbal) en les comparant à leur propre groupe témoin.

Aucun résultat n'atteint la significativité : les participants TSA, tous groupes d'autisme confondus, semblent se comporter de la même façon que leurs contrôles NT de même âge chronologique (Figure 4-17). Toutefois, si l'on considère chaque groupe séparément, les participants TSA ne se comportent pas exactement de la même manière que les participants NT. En effet, chacun des deux groupes de participants TSA (syndrome d'Asperger et autisme verbal) perçoit significativement plus les tons purs variant en pitch de façon trochaïque comparativement au hasard (respectivement : $p = .02$ et $p = .04$), ce qui n'est pas le cas des deux sous-groupes de participants contrôles NT ($p = .18$ et $p = .69$). De plus, pour le groupe autisme verbal seulement, les participants NT groupent significativement plus les tons purs variant en durée de façon iambique comparativement au hasard ($p = .004$), ce qui n'est pas le cas des participants TSA ($p = .12$).

Figure 4-17 : Pourcentage de groupements iambiques et trochaïques selon le groupe d'appartenance des participants (NT ou TSA), pour les groupes (a) syndrome d'Asperger et (b) autisme verbal, pour les trois conditions (durée, intensité et pitch) de l'Expérience 2.



4.5 Discussion intermédiaire

Dans cette seconde expérience, nous avons exploré la perception de l'ITL à un niveau non linguistique. Par cette étude, nous cherchions à déterminer la manière dont le groupement de tons purs est perçu, selon que ces derniers varient soit en durée, soit en intensité, soit en pitch, chez deux groupes de participants (des participants neurotypiques, et des participants présentant un trouble du spectre autistique) âgés de 11 à 60 ans. Cette étude est la première à s'intéresser à la perception de l'ITL dans l'autisme.

Les résultats de l'Expérience 2, synthétisés dans le Tableau 4-2, sont en accord avec la littérature pour ce qui est du développement typique : les participants francophones montrent un biais iambique prononcé pour les séquences variant en durée, et ce, quel que soit leur âge (voir par exemple Abboub (2015), qui a mis en évidence un biais iambique pour la durée chez des nouveau-nés, des bébés de 7-8 mois, et des adultes, francophones). En revanche, ils ne montrent aucune préférence pour les séquences variant en intensité ou en pitch. La force de ce biais iambique pour la durée est d'ailleurs confirmée par trois éléments : d'abord parce que les participants NT perçoivent également les séquences neutres de façon iambiques lorsqu'elles sont mélangées à des séquences variant en durée (ce qui n'est pas le cas lorsqu'elles sont mélangées à des séquences variant en intensité ou en pitch) ; ensuite parce que lorsque le ratio d'accentuation est grand (x3), le biais iambique est encore plus prononcé que lorsque le ratio est petit (x1.25) (ce que nous n'observons pas dans les deux autres conditions) ; et enfin parce qu'ils groupent significativement plus les séquences variant en durée de façon iambique que les séquences variant en intensité ou en pitch de façon trochaïque. De plus, leurs réponses au hasard pour les indices d'intensité et de pitch ne diffèrent pas entre ces deux conditions, car ils ne donnent pas plus de réponses trochaïques pour l'intensité que pour le pitch, suggérant que les individus francophones ayant acquis le langage depuis plusieurs années ne sont pas sensibles à l'ITL pour deux indices prosodiques non proéminents en français. Aussi, les individus sensibles au biais trochaïque pour l'intensité sont également ceux qui sont sensibles au biais trochaïque pour le pitch, comme si pour la durée – où la langue maternelle (le français) joue un rôle sur le groupement iambique – les biais individuels étaient moins forts, tandis que dans les conditions où la langue maternelle ne joue pas, les participants avaient des tendances/stratégies de réponses.

Ce biais iambique trouvé dans la population typique ne semble pas être présent chez tous les participants TSA. Effectivement, seuls les individus ayant le syndrome d'Asperger (ayant donc un développement typique du langage), montrent un biais iambique pour les séquences variant en durée (biais qui semble se consolider avec l'âge), mais pas les individus TSA verbaux ayant un autre type d'autisme. Cependant, les deux groupes de participants sont sensibles au ratio d'accentuation pour la durée : ils groupent davantage les séquences de tons purs variant en durée lorsque le ratio est grand (x3) que lorsque le ratio est petit

(x1.25). Il est donc possible que la perception de cet indice prosodique de durée ne soit pas identique entre les deux groupes de participants avec autisme, expliquant possiblement les différences dans le développement verbal de ces deux populations : les individus TSA ayant un retard de langage aurait besoin d'une accentuation plus marquée pour saisir les variations de durée véhiculée par le langage, il leur faudrait alors plus de temps pour décoder les patterns d'accentuation du français lors de l'acquisition du langage. Toutefois, étant donné le nombre restreint de participants dans le groupe autisme verbal (N= 9), nous devons d'être prudents avec l'interprétation de nos données. En outre, l'âge semble avoir un impact sur la manière de grouper les sons pour la condition de la durée, pour les individus ayant le syndrome d'Asperger uniquement : plus les participants sont âgés, plus ils vont grouper les tons purs variant en durée de façon iambique, suggérant que, dans notre population TSA-A francophone, le biais iambique se renforce avec l'âge. De plus, contrairement aux participants NT, nous avons mis en évidence un biais trochaïque pour les séquences variant en pitch pour l'ensemble des participants TSA. Dans cette condition d'ailleurs, les participants TSA donnent significativement plus de réponses trochaïques que pour l'intensité.

Par ailleurs, nous avons pu voir que les seuils de discrimination étaient liés à la sensibilité à l'ITL, chez les participants NT, et chez les participants TSA du groupe syndrome d'Asperger. En effet, dans la population typique, le seuil de discrimination du pitch pour les basses fréquences explique une part moyenne de la variance du groupement de tons purs variant en durée, et une part moyenne de la variance du groupement de tons purs variant en pitch chez les participants TSA. Effectivement, nous observons que meilleurs sont les seuils de discrimination pour le pitch de basses fréquences, plus les participants typiques vont grouper de façon *iambique* les tons purs variant en durée, et plus les participants ayant syndrome d'Asperger vont grouper de façon *trochaïque* les tons purs variant en pitch. De plus, chez les individus ayant le syndrome d'Asperger seulement, le seuil de discrimination du pitch pour les hautes fréquences explique une part moyenne de la variance du groupement de tons purs variant en intensité : meilleurs sont leurs seuils et plus ils vont grouper de façon *trochaïque* les tons purs variant en intensité. Ces résultats sont assez surprenants : pourquoi la valeur du seuil observée pour le pitch viendrait-elle modifier le groupement iambo-trochaïque de la durée et de l'intensité ? Pour le pitch, nous observons

un effet assez logique chez les individus TSA, à savoir, une augmentation des groupements trochaïques chez les personnes ayant les seuils les plus fins. En revanche, il est assez difficile de déterminer pourquoi les personnes NT ayant les seuils plus fins pour les basses fréquences groupent davantage la durée de façon iambique, et pourquoi les personnes TSA Asperger ayant les seuils plus fins pour les hautes fréquences groupent davantage l'intensité de façon trochaïque. Peut-être que simplement leurs bonnes capacités de discrimination les rendent plus sensibles aux variations prosodiques, quel que soit l'indice, et donc ainsi plus sensibles aux biais de groupement prédits par l'ITL.

Tableau 4-2 : Synthèse des résultats obtenus à l'Expérience 2, pour l'ensemble des participants (NT et TSA), la variabilité liée à l'âge, ainsi que l'influence des capacités de discrimination, pour la perception de l'ITL dans chacune des trois conditions (durée, intensité, et pitch). (iamb. = iambique ; troch. = trochaïque)

	Préférence			Pattern développemental			Influence de la discrimination		
	Durée	Intensité	Pitch	Durée	Intensité	Pitch	Durée	Intensité	Pitch
Neuro typiques	iamb.	x	x	x	x	x	✓ (BF)	x	x
Syndrome d'Asperger	iamb.	x	troch.	✓	x	x	x	✓ (HF)	✓ (BF)
Autisme verbal	x	x	troch.	x	x	x	x	x	x

5. CHAPITRE 5 (EXPERIENCE 3) : GROUPEMENTS DE SYLLABES SELON LA LOI IAMBO-TROCHAÏQUE

5.1 Introduction

Cette expérience est la continuité de l'Expérience 2. Après nous être intéressés à l'ITL et au biais perceptif dans le groupement de tons purs, nous cherchons à présent à étudier ce biais à un niveau plus abstrait : celui du traitement linguistique. En effet, nombreuses sont les études dont les résultats divergent selon le matériel utilisé ou selon la variabilité des stimuli (Bhatara et al., 2013; Hay & Diehl, 2007; Iversen et al., 2008). De ce fait, en comparant les Expériences 2 et 3, utilisant une procédure similaire et des stimuli comparables, nous cherchons à déterminer si l'ITL est modulée par le niveau de traitement. Par ailleurs, étant données nos populations atypiques, dont certains sous-groupes n'ont pas développé de langage intelligible, un autre objectif est de déterminer si l'ITL est modulée par l'expérience linguistique, plus précisément par les capacités de production langagière et l'âge de production des premiers mots.

Tout comme pour l'Expérience 2, et conformément à la loi iambo-trochaïque (ITL pour *iambic-trochaic law*) (Hayes, 1985, 1995; Nespor et al., 2008), les participants devraient grouper les syllabes variant en durée de manière iambique (*court – long*), et les syllabes variant en intensité et en pitch de manière trochaïque (*fort – faible* et *aigu – grave*).

Là aussi, nous pourrions nous attendre à un effet des seuils de discrimination auditive sur les performances de groupement. En effet, si la discrimination peut être faite pour des raisons purement acoustiques, les participants ayant les seuils les plus fins pourraient se montrer davantage sensibles aux biais attendus selon l'ITL, et réciproquement. Ces hypothèses sont valables pour les trois groupes de participants (NT, TSA, et SW).

De plus, si l'absence de la production linguistique impacte le groupement, nos participants ANV pourraient montrer une performance différente de celle des autres sous-groupes.

5.2 Matériel et méthode

5.2.1 *Stimuli*

Nous avons synthétisé des séquences de pseudo-mots par le biais de MBROLA, en utilisant une voix féminine (fr4), et PRAAT (Boersma, 2001; <http://www.praat.org/>). Tout

comme pour l'Expérience 2, nous avons créé trois conditions, correspondant à chacun des trois indices prosodiques : (1) la durée, (2) l'intensité, et (3) le pitch. Chaque séquence alternait entre une syllabe de référence et une syllabe accentuée : soit (1) plus longue, soit (2) plus forte, soit (3) plus aiguë (Tableau 5-1).

5.2.2 Durée

Nous avons choisi une durée de référence (240 msec), ainsi que deux ratios d'accentuation (1.2 et 1.33). La durée des syllabes accentuées était donc de 288 et 320 msec (soit respectivement un phonème d'une durée de 144 ou 160 msec, pour un phonème de référence de 120 msec). Le pitch (200 Hz) et l'intensité (83 dB) étaient constants dans toutes les séquences.

5.2.3 Intensité

Nous avons choisi une intensité de référence (83 dB), ainsi que deux ratios de désaccentuation (1.4 et 1.66)¹⁴. L'intensité des syllabes désaccentuées était donc de 75 et 68 dB. Le pitch (200 Hz) et la durée (240 msec) étaient constants dans toutes les séquences.

5.2.4 Pitch

Nous avons choisi un pitch de référence (200 Hz), ainsi que deux ratios d'accentuation (1.2 et 1.33). Le pitch des syllabes accentuées était donc de 240 et 266 Hz. La durée (240 msec) et l'intensité (83 dB) étaient constantes dans toutes les séquences.

¹⁴ Les ratios sont quelque peu différents dans la condition de l'intensité par rapport à l'expérience précédente, de façon à respecter les paramètres de la voix conversationnelle en français.

Tableau 5-1 : Détails des pseudo-mots créés pour l'Expérience 3.

CONDITIONS	<i>Durée de référence</i>	<i>Ratios accentuation</i>	<i>Intensité de référence</i>	<i>Ratios désaccentuation</i>	<i>Pitch de référence</i>	<i>Ratios accentuation</i>
Durée	240 msec	1.2 1.33	83 dB		200 Hz	
Intensité	240 msec		83 dB	1.4 1.66	200 Hz	
Pitch	240 msec		83 dB		200 Hz	1.2 1.33

Pour créer les pseudo-mots, nous avons utilisé la base de données lexique 3.80 (New, Pallier, Brysbaert, & Ferrand, 2004 ; disponible sur le site www.lexique.org). Nous avons effectué une recherche de mots composés de deux consonnes et deux voyelles (de type CVCV), et avons sélectionné huit mots dont la fréquence d'apparition selon le corpus de livres (par million d'occurrences) était de zéro. Nous avons ainsi créé huit paires de syllabes, formant chacune deux pseudo-mots, soit seize mots au total :

- | | | | |
|-----------|---------|----------|--------|
| - /beku/ | /kube/ | - /gelu/ | /luge/ |
| - /bufo/ | /fobu/ | - /kove/ | /veko/ |
| - /chima/ | /machi/ | - /lite/ | /teli/ |
| - /dofa/ | /fado/ | - /naru/ | /runa/ |

Comme pour l'Expérience 2, nous avons choisi de maintenir constante la durée totale de chaque séquence, soit 10 secondes. Ainsi, pour l'intensité et le pitch, chaque pseudo-mot était répété 21 fois, et pour la durée, chaque pseudo-mot était répété 19 et 18 fois (pour les ratios 1.2 et 1.33, respectivement).

Par ailleurs, nous avons créé deux versions de chacune des séquences selon qu'elles commençaient par une syllabe accentuée (type « trochaïque »), ou par une syllabe non accentuée (type « iambique »). De plus, de façon à ne pas donner d'indice quant à la première ou la dernière syllabe, chaque séquence était rampée bilatéralement de manière exponentielle sur 2,5 secondes. Nous avons créé 128 séquences pour chaque condition

(pseudo-mots [8] × ratios [2] × syllabes accentuées possibles [2] × position de la syllabe accentuée [2] × ordres [2]). Aussi, pour réduire le temps de passation, nous avons créé deux listes de pseudo-mots selon l'ordre : une première ne contenant que des pseudo-mots où la syllabe accentuée était présentée en premier (trochaïques) dans la séquence, une seconde ne contenant que des pseudo-mots où la syllabe accentuée était présentée en deuxième (iambique) dans la séquence. Chaque participant ne passait qu'un seul des deux types de liste, dans les trois conditions (design inter-sujets), soit 64 séquences par condition. L'ordre de présentation des pseudo-mots était randomisé fixe : chaque liste de 64 stimuli a été divisée en blocs de 8 stimuli, contenant tous les huit paires de syllabes différentes, et les deux ratios d'accentuation. Cette randomisation fixe permettait, en cas d'arrêt de la procédure avant la fin, d'avoir une certaine homogénéité dans le nombre de conditions testées, et de pouvoir ainsi exploiter les résultats obtenus. Etant donnée la durée de la procédure, nous n'avons pas inclus de séquences contrôles neutres durant le test.

5.3 Procédure

Le paradigme a été programmé à l'aide de PsyScope X (disponible sur le site <http://psy.ck.sissa.it/>). Chaque participant faisait face à un écran sur lequel apparaissaient deux pseudo-mots, correspondant à chacune des deux organisations possibles des syllabes (par exemple : /beku/ et /kubə/). Les deux mots apparaissaient simultanément sur l'écran, un à droite et un à gauche, en même temps que la présentation auditive des séquences de syllabes. Tous les participants passaient les trois conditions dans des blocs expérimentaux différents, et l'ordre de passation des trois conditions était randomisé (design inter-sujets). La tâche était de choisir quel mot était répété, en choisissant le mot correspondant, et en appuyant sur la touche du clavier associée (procédure à choix forcé : soit iambique, soit trochaïque). Dans le cas où les participants ne savaient pas lire (jeunes enfants NT et certains participants atypiques), ils donnaient leur réponse à l'oral, et l'examineur appuyait sur le bouton du clavier correspondant à leur place.

Pour les passations expérimentales réalisées en laboratoire, les participants étaient assis confortablement dans une pièce silencieuse, et les stimuli étaient présentés via PsyScope X, sur un MacBook Air portable, à l'aide d'un casque Sennheiser HD449. Pour les passations expérimentales réalisées dans les écoles ou à domicile, le matériel était

identique, et les enfants étaient assis confortablement dans une pièce isolée des salles de classe, de la cour de récréation ou de toute autre source de bruit. La tâche était précédée d'une phase d'entraînement avec un item neutre (/gaba/ ou /baga/), afin de s'assurer que la consigne soit bien comprise. Au besoin, cette phase pouvait être répétée.

L'ensemble de l'Expérience 3 durait approximativement 25 minutes. En cas de besoin, et pour chaque condition, la procédure pouvait être stoppée manuellement (ce fût le cas notamment pour certains enfants NT, ainsi que pour certains participants des populations atypiques).

5.4 Participants

5.4.1 *Participants NT*

249 (108 filles) enfants, adolescents et adultes, francophones, neurotypiques, âgés de 3 ans 5 mois à 60 ans 2 mois (âge moyen : 13 ans 0 mois), ont participé à l'Expérience 3. Tous les participants NT ont passé les trois conditions (durée, intensité, et pitch).

5.4.2 *Participants TSA*

144 (29 filles) enfants, adolescents et adultes, francophones, présentant un trouble du spectre autistique, âgés de 3 ans 5 mois à 60 ans 5 mois (âge moyen : 15 ans 7 mois), ont participé à l'Expérience 3 : 55 participants du groupe syndrome d'Asperger (A), 74 du groupe autisme verbal (AV) et 15 du groupe autisme non verbal (ANV). En effet, bien que les enfants, adolescents et adultes non verbaux n'aient pas développé de langage oral intelligible, ils étaient tous capables de répéter des mots entendus. Les autres participants TSA (30) n'ont soit pas compris la consigne, soit pas voulu participer à cette expérience. Parmi ces 144 participants, 138 ont passé la condition *durée* (54 syndrome d'Asperger, 72 autisme verbal, et 13 autisme non verbal), 133 la condition *intensité* (54 syndrome d'Asperger, 68 autisme verbal, et 11 autisme non verbal), et 141 la condition *pitch* (55 syndrome d'Asperger, 72 autisme verbal, et 14 autisme non verbal).

5.4.3 Participants SW

16 (2 filles) enfants, adolescents et adultes, francophones, ayant le syndrome de Williams, âgés de 5 ans 0 mois à 24 ans 11 mois (âge moyen : 12 ans 2 mois), ont participé à l'Expérience 3.

5.5 Résultats

Dans les analyses suivantes, nous allons examiner les groupements iambo-trochaïques de pseudo-mots dans lesquels une syllabe sur deux varie soit en durée, soit en intensité, soit en pitch. Nous analyserons les réponses de nos trois groupes de participants (NT, TSA et SW) individuellement, puis nous les comparerons entre eux. Aussi, nous analyserons comment ces réponses peuvent être modifiées en fonction de l'âge des participants, et, pour les participants TSA, en fonction de leur type d'autisme. Enfin, nous étudierons si les seuils de discrimination auditive peuvent avoir un effet sur la manière dont les participants (typiques ou atypiques) groupent les syllabes.

5.5.1 Participants NT

Les résultats moyens des trois tâches sont présentés dans la Figure 5-1 pour la grande moyenne, et dans la Figure 5-2 pour la distribution des réponses individuelles. Les figures montrent le pourcentage de réponses correctes selon l'ITL (*iambiques* pour la durée et *trochaïques* pour l'intensité et le pitch).

Figure 5-1 : Pourcentage de réponses correctes (iambiques pour la durée, trochaïques pour l'intensité et le pitch), selon la condition, pour l'ensemble des participants NT de l'Expérience 3.

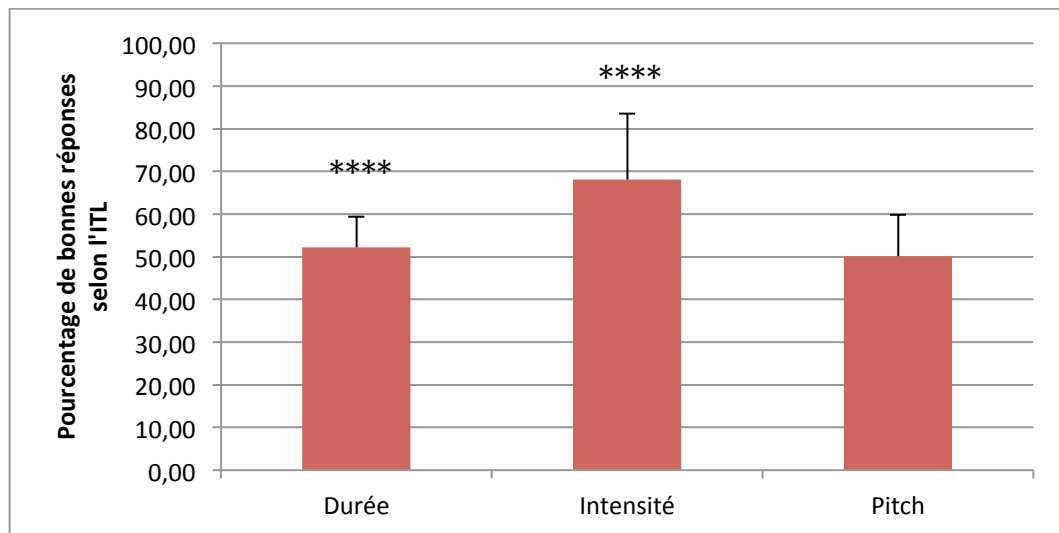
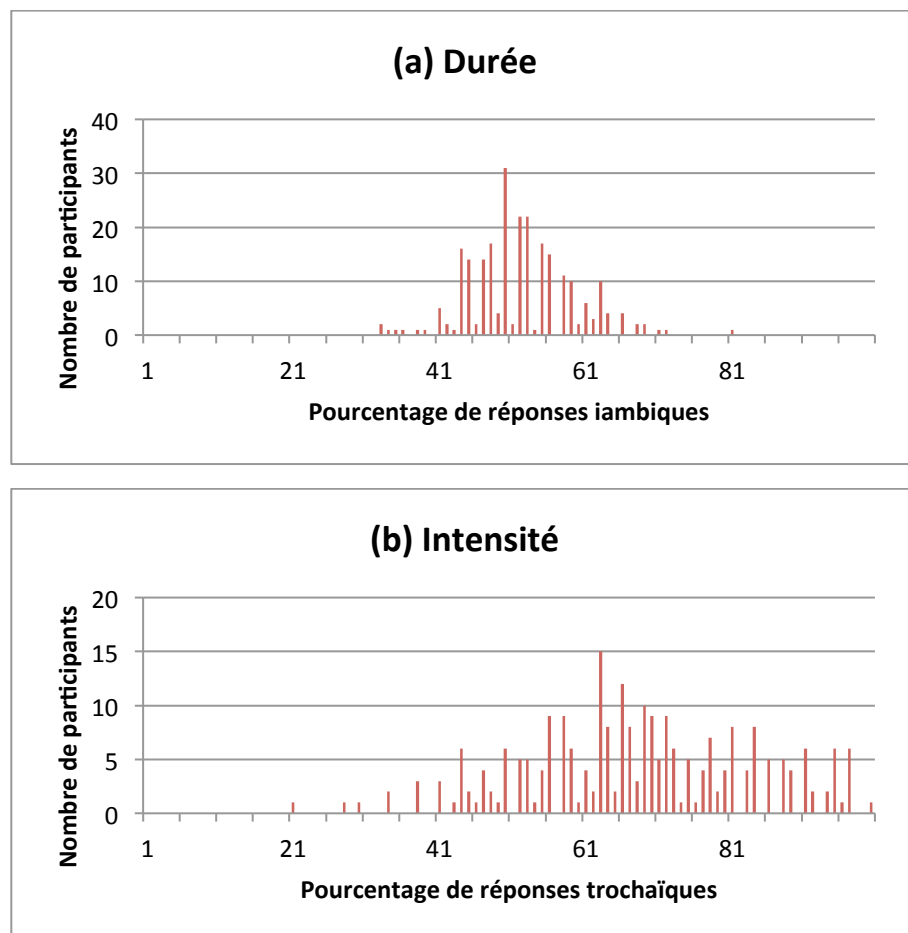
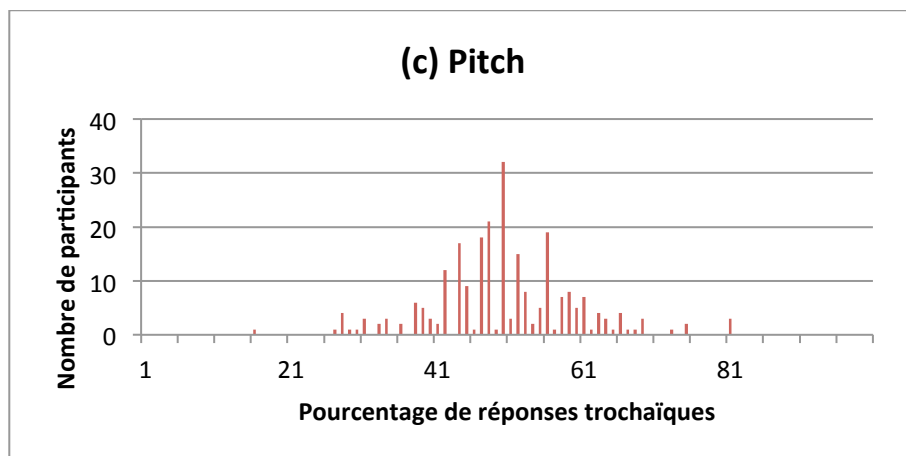


Figure 5-2 : Distribution des réponses individuelles pour chacune des trois condition (a) Durée, (b) Intensité et (c) Pitch, pour l'ensemble des participants NT de l'Expérience 3.





Dans les sections suivantes, nous nous intéresserons dans un premier temps aux groupements iambo-trochaïques de syllabes selon la condition. Puis, dans un second temps, nous analyserons un à un les facteurs qui peuvent jouer un rôle dans le groupement (l'ordre de présentation des conditions, le type de liste, le nombre d'essais, et le ratio).

5.5.1.1 Analyse des groupements iambo-trochaïques (analyse principale)

Afin de vérifier si le pourcentage de réponses correctes est fonction de la condition dans notre population NT, nous avons réalisé une ANOVA à mesures répétées, avec comme facteur intra-sujets la condition à trois modalités (durée, intensité, et pitch), et comme facteur inter-sujets le groupe d'âge à 12 modalités (3 ans, 4 ans, 5 ans, 6 ans, 7 ans, 8 ans, 9 ans, 10 ans, 11-14 ans, 15-17 ans, 18-30 ans, et 31-60 ans).

Les résultats révèlent un effet principal de la condition ($F(1.71, 237) = 158.52, p < .0001, \eta^2_p = .40$) : les participants NT donnent significativement plus de bonnes réponses pour l'intensité (trochaïque) que pour la durée (iambique) (Sidak post-hoc, $p < .0001$) et le pitch (trochaïque) (Sidak post-hoc, $p < .0001$), mais ne donnent pas plus de bonnes réponses pour la durée (iambique) que pour le pitch (trochaïque).

De plus, les résultats révèlent une interaction entre la condition et le groupe d'âge ($F(18.80, 237) = 2.81, p < .0001, \eta^2_p = .12$). Ces résultats sont liés au fait que : dans la condition de l'intensité, les enfants de 4 ans groupent significativement moins correctement les pseudo-mots de façon trochaïque que les enfants de 6 ans et de 8 ans, que les adolescents de 15-17 ans, et que les adultes de 18 ans à 30 ans (Sidak post-hoc, $p < .04$) ; de plus, dans la condition du pitch, les enfants de 9 ans groupent significativement moins correctement les

pseudo-mots variant en pitch de façon trochaïque que les enfants de 4 ans et de 5 ans (Sidak post-hoc, $p < .04$). Aucun autre effet ni interaction n'atteint la significativité.

Par ailleurs, afin de vérifier si le biais iambique s'applique pour la durée, et le biais trochaïque pour l'intensité et le pitch, dans notre population NT, nous avons réalisé des tests de Student sur le nombre de réponses correctes par rapport au hasard (50%), pour chacune des trois conditions (durée, intensité, pitch). Les résultats révèlent que les participants NT ont tendance à percevoir significativement plus les pseudo-mots variant en durée de façon iambique ($m = 52.23$, $s = 7.15$) comparativement au hasard ($t(248) = 4.93$, $p < .0001$), et les pseudo-mots variant en intensité de façon trochaïque ($m = 68.02$, $s = 15.44$) comparativement au hasard ($t(248) = 18.41$, $p < .0001$) (Figure 5-1). Finalement, il n'y a pas de différence entre le pourcentage de groupements trochaïques *versus* aléatoires le pitch ($m = 50.16$, $s = 9.75$).

5.5.1.2 Analyse des réponses selon l'ordre de présentation des conditions

De façon à évaluer la contribution éventuelle de l'ordre de présentation des conditions sur le groupement iambo-trochaïque des tons purs chez les participants NT, nous avons réalisé des ANOVAs univariées avec comme facteur fixe l'ordre de présentation à trois modalités (en première position, en deuxième, et en troisième), pour chacune des trois conditions (durée, intensité, et pitch). Les résultats révèlent un effet principal de l'ordre pour l'intensité ($F(2, 246) = 27.79$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .18$) et pour le pitch ($F(2, 246) = 4.63$, $p = .01$, $\eta^2_p = .04$). Il semblerait que les participants NT groupent significativement plus les pseudo-mots variant en intensité de façon trochaïque lorsque cette condition est présentée en premier, que lorsqu'elle est présentée en seconde ou en troisième position (Sidak post-hoc, $p < .0001$). Dans la condition du pitch, il semblerait que les participants NT groupent significativement plus les pseudo-mots de façon trochaïque lorsque cette condition est présentée en seconde position que lorsqu'elle est présentée en troisième position (Sidak post-hoc, $p = .01$).

5.5.1.3 Analyse des réponses selon le type de liste

De façon à évaluer la contribution éventuelle du type de liste le groupement iambo-trochaïque des pseudo-mots chez les participants NT, nous avons réalisé des ANOVAs univariées avec comme facteur fixe le type de liste à deux modalités (commençant par un pseudo-mot iambique ou trochaïque), pour chacune des trois conditions (durée, intensité, et pitch). Aucun résultat n'atteint la significativité. De ce fait, il semblerait que, chez les participants NT, le type de liste (iambique ou trochaïque) n'ait pas d'effet sur le pourcentage de réponses correctes selon la loi iambo-trochaïque, pour le groupement de pseudo-mots.

5.5.1.4 Analyse des réponses selon le nombre d'essais

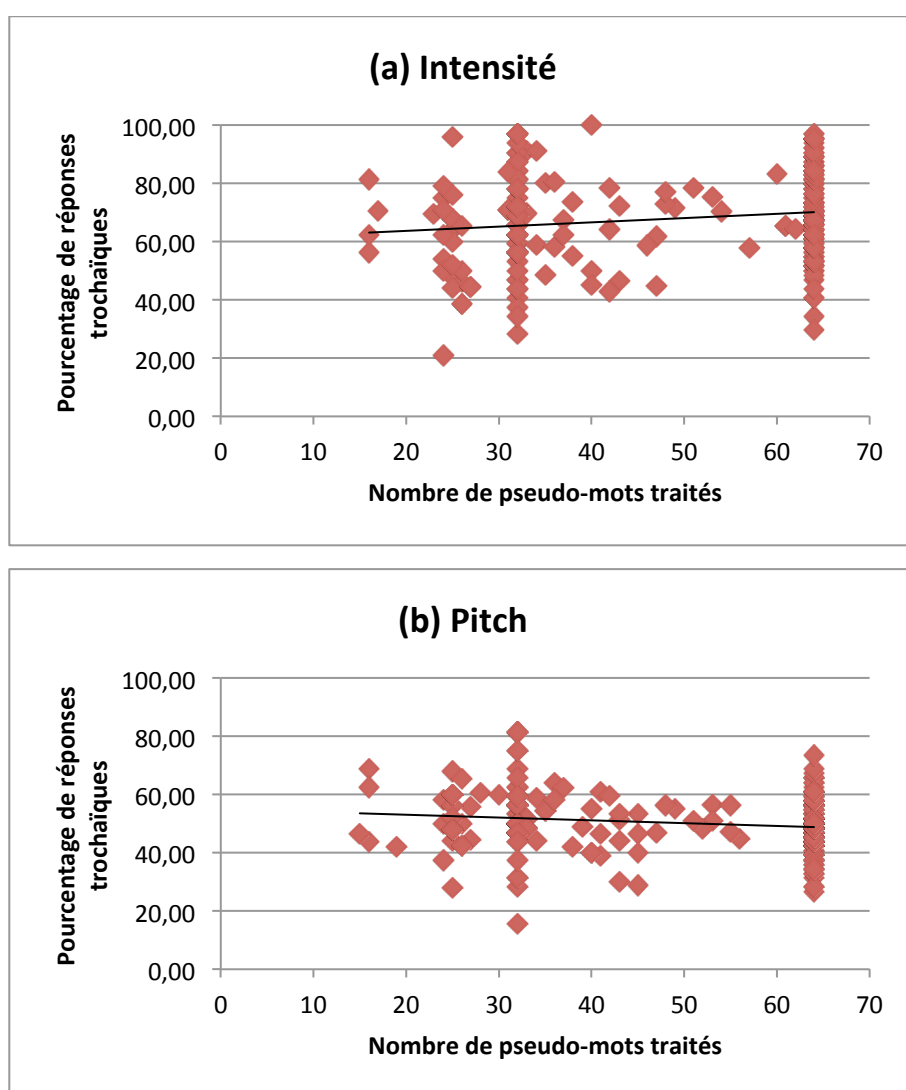
Nous avons réalisé des analyses de corrélations et de régressions pour déterminer si le nombre d'essais effectués était lié au groupement iambo-trochaïque de syllabes variant en durée, en intensité, ou en pitch. Le nombre d'essais qu'un participant a accepté de passer est pertinent pour deux raisons : d'une part, il est un corrélat de l'attention, de l'intérêt et de la motivation d'un participant, et d'autre part, la phase de test peut donner lieu à l'émergence d'effets d'apprentissage ou de stratégie de réponse.

Les résultats révèlent une corrélation significative, positive et faible, entre le groupement de syllabes variant en intensité et le nombre de pseudo-mots testés ($r = .16$, $p = .01$) : plus les participants NT passent d'essais, et plus ils groupent les syllabes de façon trochaïque (Figure 5-3-a). La régression linéaire simple conduit alors à un modèle significatif ($F(1, 247) = 6.14$, $p = .01$) dans lequel le nombre d'essais effectués explique une part faible ($R^2 = 2\%$) de la variance du groupement trochaïque de syllabes variant en intensité chez les participants NT. De plus, les résultats révèlent une corrélation significative, négative et faible, entre le groupement de syllabes variant en pitch et le nombre de pseudo-mots testés ($r = -.16$, $p = .01$) : plus les participants NT passent d'essais, et moins ils groupent les syllabes de façon trochaïque (Figure 5-3-b). La régression linéaire simple conduit alors à un modèle significatif ($F(1, 247) = 6.53$, $p = .01$) dans lequel le nombre d'essais effectués explique une part faible ($R^2 = 3\%$) de la variance du groupement trochaïque de syllabes variant en pitch chez les participants NT. Enfin, il n'y a pas de corrélation significative entre le groupement de syllabes variant en durée et le nombre de pseudo-mots testés ($p = .81$) : le nombre total de

pseudo-mots testés ne semble pas expliquer la variance du pourcentage de groupements iambiques pour la durée.

Toutefois, étant donnée que la majorité des participants a passé soit la totalité de la procédure (64 essais par condition), soit la moitié de la procédure (32 essais par condition), les résultats sont à relativiser.

Figure 5-3 : Pourcentage de réponses trochaïques pour (a) l'intensité et (b) le pitch, en fonction du nombre de pseudo-mots traités, pour l'ensemble des participants NT de l'Expérience 3.



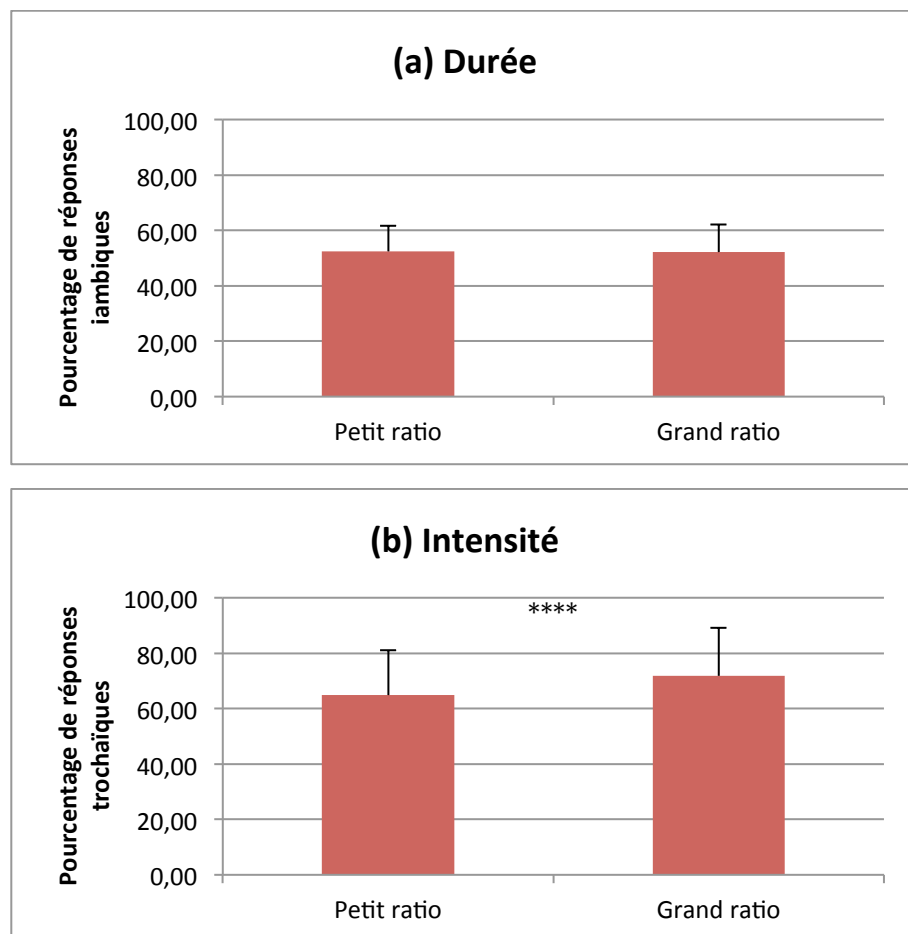
5.5.1.5 Analyse des réponses selon le ratio

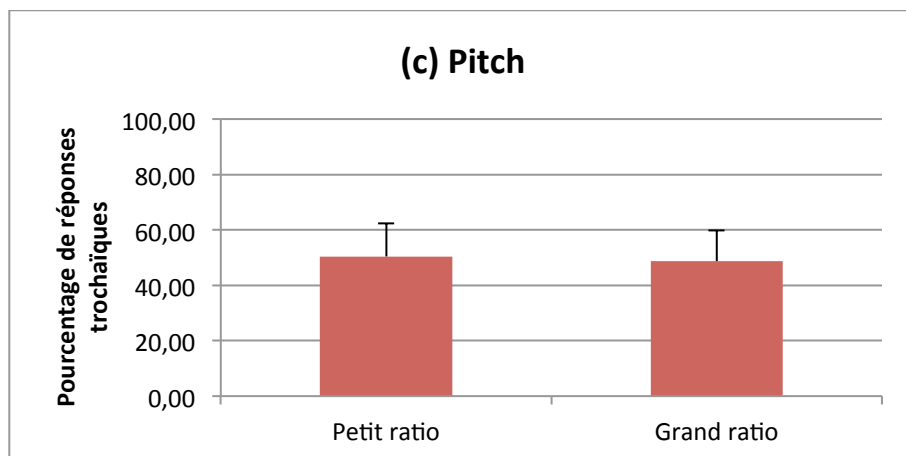
Afin de vérifier si le pourcentage de réponses correctes est fonction du ratio d'accentuation dans notre population NT, nous avons réalisé des ANOVAs à mesures

répétées, avec comme facteur intra-sujets le ratio à deux modalités (petit et grand), pour chacune des trois conditions (durée, intensité, et pitch).

Les résultats révèlent un effet principal du ratio pour l'intensité uniquement ($F(1, 232) = 53.17$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .19$) : le pourcentage de groupements trochaïques de pseudo-mots variant en intensité est significativement plus important lorsque le ratio d'accentuation est grand que lorsqu'il est petit (Sidak post-hoc, $p < .0001$). Aucun autre effet n'atteint la significativité : le groupement de pseudo-mots variant en durée ou en pitch est identique quel que soit le ratio d'accentuation.

Figure 5-4 : Pourcentage de groupements iambiques et trochaïques selon le ratio d'accentuation des pseudo-mots, pour (a) la durée, (b) l'intensité, et (c) le pitch, pour l'ensemble des participants NT de l'Expérience 3.





5.5.1.6 Analyse des indices entre eux

Pour analyser la variabilité interindividuelle et pour comprendre si les résultats nuls dans la condition du pitch sont dus à des distributions bimodales donnant une moyenne de 50% au niveau du groupe, mais correspondant à des préférences fortes au niveau individuel, nous avons réalisé des tests de normalité de Kolmogorov-Smirnov pour chacune des trois conditions. Les tests de Kolmogorov-Smirnov sont statistiquement significatifs pour la durée ($D = .09$, $p < .0001$) et le pitch ($D = .09$, $p < .0001$), indiquant des distributions différentes de la normale. En revanche, le test de Kolmogorov-Smirnov est non significatif pour l'intensité ($D = .04$, $p = .20$), indiquant une distribution normale des réponses dans cette condition. Mais comme la Figure 5-2 (a, b, c) le montre, les distributions ne sont pas bimodales.

Nous avons également réalisé des corrélations entre les indices. Les résultats ne révèlent aucune corrélation significative entre le pourcentage de réponses correctes des trois conditions ($p > .14$) : il semblerait que les pourcentages de réponses correctes (iambiques ou trochaïques selon la condition) ne soient pas liés entre eux.

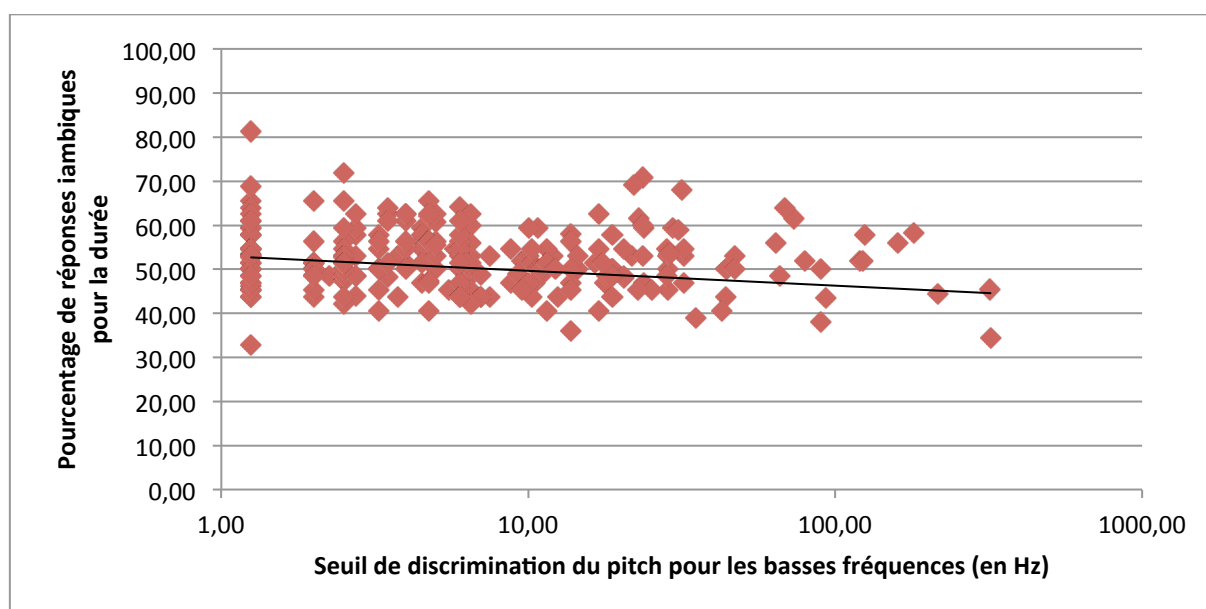
5.5.1.7 Analyse des réponses selon les seuils de discrimination auditive

En se basant sur l'hypothèse que les participants ayant les seuils les plus fins pourraient avoir une préférence plus marquée dans le groupement de syllabes, nous avons réalisé des analyses de corrélations et de régressions pour déterminer si les seuils de discrimination de la durée, du pitch de basses fréquences, et du pitch de hautes fréquences, étaient liés au groupement iambo-trochaïque de pseudo-mots variant en durée, en intensité, ou en pitch.

1.1.1.1.1 Durée

Les résultats révèlent une corrélation significative, négative et faible, entre le groupement de syllabes variant en durée, et le seuil pour le pitch de basses fréquences ($r = -.15$, $p = .02$) : meilleurs sont les seuils de discrimination pour le pitch de basses fréquences des participants NT, plus ils vont grouper correctement de façon iambique les pseudo-mots variant en durée (Figure 5-5). La régression linéaire simple conduit alors à un modèle significatif ($F(1, 243) = 5.85$, $p = .02$) dans lequel le seuil de discrimination du pitch pour les basses fréquences explique une part faible ($R^2 = 2\%$) de la variance du groupement iambique de syllabes variant en durée chez les participants NT.

Figure 5-5 : Pourcentage de réponses correctes (iambiques) pour le groupement de pseudo-mots variant en durée, en fonction du seuil de discrimination obtenu pour le pitch de basses fréquences, pour l'ensemble des participants NT de l'Expérience 3.

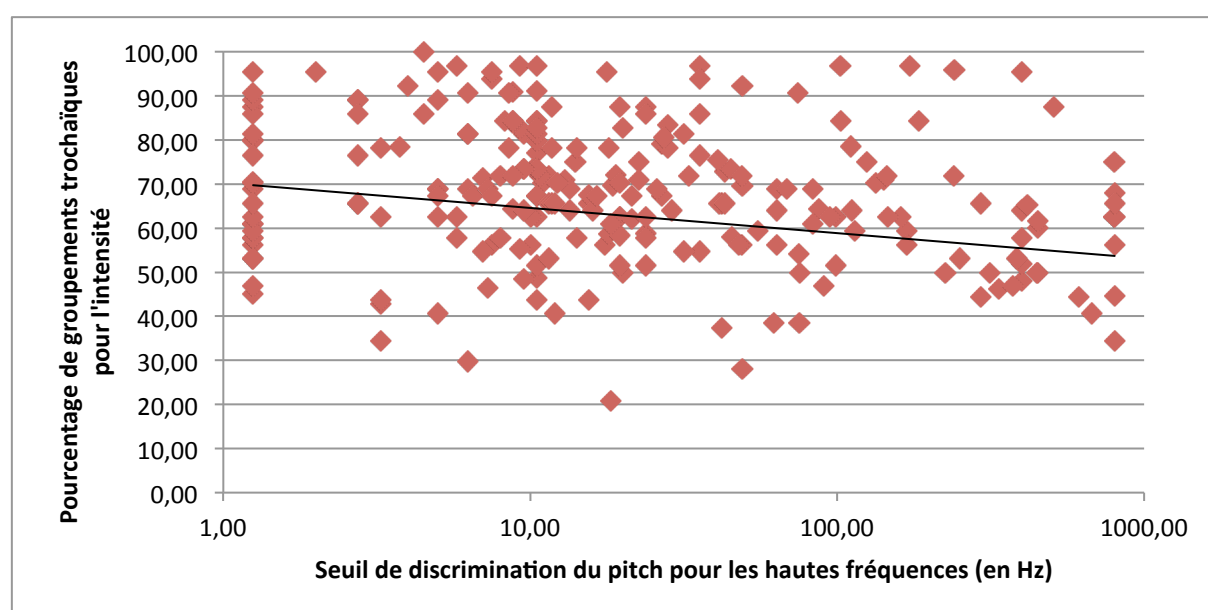


1.1.1.1.2 Intensité

Les résultats révèlent une corrélation significative, négative et faible, entre le groupement de syllabes variant en intensité, et le seuil pour le pitch de basses fréquences ($r = -.18$, $p = .005$), ainsi qu'une corrélation significative, négative et moyenne, entre le groupement de syllabes variant en intensité, et le seuil pour le pitch de hautes fréquences ($r = -.22$, $p < .0001$) : meilleurs sont les seuils de discrimination pour le pitch (basses fréquences et hautes fréquences) des participants NT, plus ils vont grouper correctement de

façon trochaïque les pseudo-mots variant en intensité. Afin d'établir quelle(s) variable(s) prédit significativement le groupement iambo-trochaïque de syllabes variant en intensité, les deux facteurs précédents ont été intégrés dans une régression pas à pas. La régression linéaire multiple pas à pas conduit alors à un modèle significatif ($F(1, 242) = 12.46, p < .0001$) contenant uniquement le seuil de discrimination du pitch pour les hautes fréquences comme prédicteur, ce dernier expliquant une part moyenne ($R^2 = 5\%$) de la variance du groupement iambique de syllabes variant en intensité chez les participants NT (Figure 5-6).

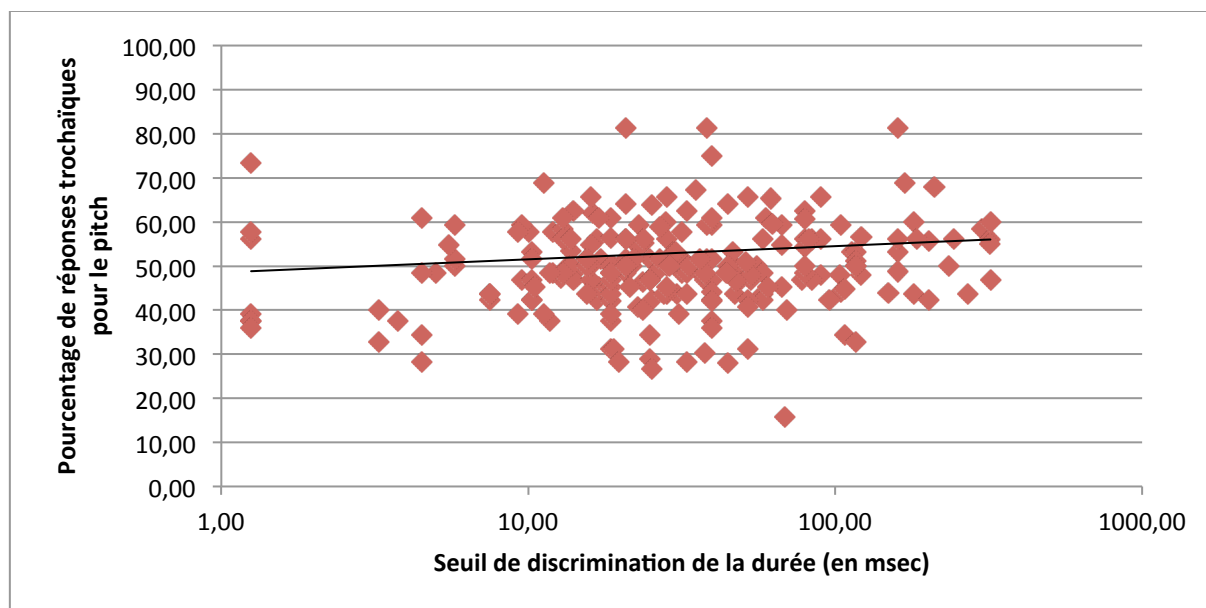
Figure 5-6 : Pourcentage de réponses correctes (trochaïques) pour le groupement de pseudo-mots variant en intensité, en fonction du seuil de discrimination obtenu pour le pitch de hautes fréquences, pour l'ensemble des participants NT de l'Expérience 3.



1.1.1.1.3 Pitch

Les résultats révèlent une corrélation significative, positive et faible, entre le groupement de syllabes variant en pitch, et le seuil pour la durée ($r = .17, p = .008$) : meilleurs sont les seuils de discrimination pour le pitch de basses fréquences des participants NT, moins ils vont grouper correctement de façon trochaïque les pseudo-mots variant en pitch (Figure 5-7). La régression linéaire simple conduit alors à un modèle significatif ($F(1, 237) = 7.25, p = .008$) dans lequel le seuil de discrimination de la durée explique une part faible ($R^2 = 3\%$) de la variance du groupement trochaïque de syllabes variant en pitch chez les participants NT.

Figure 5-7 : Pourcentage de réponses correctes (trochaïques) pour le groupement de pseudo-mots variant en pitch, en fonction du seuil de discrimination obtenu pour la durée, pour l'ensemble des participants NT de l'Expérience 3.



⇒ RESULTATS DES PARTICIPANTS NT : RESUME

En utilisant une procédure similaire à celle utilisée dans l'Expérience 2, nous avons exploré la perception de l'ITL chez des enfants, adolescents, et adultes neurotypiques francophones, avec un matériel linguistique. Le but de cette tâche était de déterminer de quelle manière les individus typiques groupent des séquences de syllabes variant en durée, en intensité, ou en pitch, et si et comment la perception de ces indices prosodiques évolue au cours du développement.

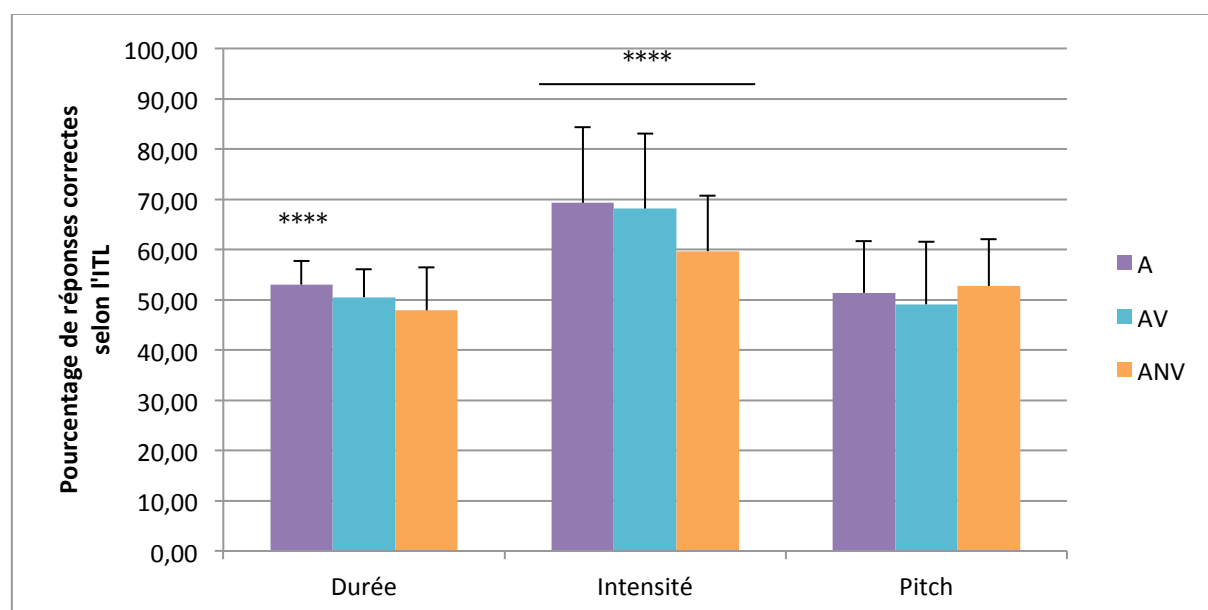
Nos résultats montrent que les participants neurotypiques francophones groupent préférentiellement les syllabes variant en durée de façon iambique, ainsi que les syllabes variant en intensité de façon trochaïque, mais ne groupent pas davantage les syllabes variant en pitch de façon trochaïque ou iambique. Par ailleurs, cette perception varie avec l'âge en ce qui concerne le pitch : les jeunes enfants de 4 ans semblent être moins sensibles au biais trochaïque que les enfants plus âgés (à partir de 6 ans), les adolescents, et les adultes, suggérant une consolidation du biais trochaïque au fur et à mesure de l'exposition à la langue. Enfin, nos résultats suggèrent un lien entre les capacités de discrimination et le groupement de pseudo-mots : une bonne discrimination du pitch semble favoriser le

groupement iambique de la durée, et le groupement trochaïque de l'intensité, alors qu'une bonne discrimination de la durée semble défavoriser le groupement trochaïque du pitch. Nous discuterons des implications théoriques de ces résultats à la fin du chapitre.

5.5.2 Participants TSA

Les résultats moyens des trois tâches sont présentés dans la Figure 5-8. Les figures montrent le pourcentage de réponses correctes selon l'ITL (iambiques pour la durée et trochaïques pour l'intensité et le pitch).

Figure 5-8 : Pourcentage de réponses correctes (iambiques pour la durée, trochaïques pour l'intensité et le pitch), selon la condition, et selon leur groupe d'appartenance (syndrome d'Asperger, autisme verbal, et autisme non verbal), pour l'ensemble des participants TSA de l'Expérience 3.



Dans les sections suivantes, nous nous intéresserons dans un premier temps aux groupements iambo-trochaïques de syllabes selon la condition. Puis, dans un second temps, nous analyserons un à un les facteurs qui peuvent jouer un rôle dans le groupement (l'ordre de présentation des conditions, le type de liste, le nombre d'essais, le ratio, et l'âge).

5.5.2.1 Analyse des groupements iambo-trochaïques (analyse principale)

Afin de vérifier si le pourcentage de réponses correctes est fonction de la condition dans notre population TSA, nous avons réalisé une ANOVA à mesures répétées, avec comme facteur intra-sujets la condition à trois modalités (durée, intensité, et pitch), et comme facteur inter-sujets le type d'autisme à trois modalités (syndrome d'Asperger, autisme verbal, et autisme non verbal). Les résultats révèlent un effet principal de la condition ($F(1.44, 129) = 38.35, p < .0001, \eta^2_p = .23$) : les participants TSA donnent significativement plus de bonnes réponses pour l'intensité (trochaïque) que pour la durée (iambique) (Sidak post-hoc, $p < .0001$) et le pitch (trochaïque) (Sidak post-hoc, $p < .0001$). Aucun autre effet ni interaction n'atteint la significativité.

Par ailleurs, afin de vérifier si le biais iambique s'applique pour la durée, et le biais trochaïque pour l'intensité et le pitch, dans notre population TSA, nous avons réalisé des tests de Student sur le nombre de réponses correctes par rapport au hasard (50%), pour chacune des trois conditions (durée, intensité, et pitch), d'abord pour l'ensemble des participants TSA, puis pour chacun des trois groupes (syndrome d'Asperger, autisme verbal, et autisme non verbal). Les résultats révèlent que, tous groupes confondus, les participants TSA ont tendance à percevoir significativement plus les pseudo-mots variant en durée de façon iambique ($m = 51.23, s = 5.78$) comparativement au hasard ($t(138) = 2.51, p = .01$), et les pseudo-mots variant en intensité de façon trochaïque ($m = 67.89, s = 14.90$) comparativement au hasard ($t(132) = 13.85, p < .0001$). Aucun autre résultat n'atteint la significativité : il n'y a pas de différence entre le pourcentage de groupements trochaïques comparativement au hasard pour le pitch ($m = 50.42, s = 11.42$).

Toutefois, chaque groupe considéré individuellement, il semblerait que les résultats précédents concernant la durée ne soient valables que pour le groupe syndrome d'Asperger : seul ce groupe de participant TSA perçoit significativement plus les pseudo-mots variant en durée de manière iambique ($m = 53.04, s = 4.68$; $t(53) = 4.78, p < .0001$), ce qui n'est pas le cas des groupes autisme verbal ($m = 50.46, s = 5.54$; $t(71) = .81, p = .42$) et autisme non verbal ($m = 47.89, s = 8.53$; $t(12) = -.88, p = .40$) (Figure 5-8).

Aucun autre effet n'atteint la significativité : il n'y a pas d'effet du type d'autisme en ce qui concerne l'intensité et le pitch. Les trois groupes perçoivent significativement plus les pseudo-mots variant en intensité de manière trochaïque comparativement au hasard ($m_A = 69.26$, $s_A = 15.16$; $m_{AV} = 68.13$, $s_{AV} = 14.99$; et $m_{ANV} = 59.68$, $s_{ANV} = 11.08$), et ne perçoivent pas plus les pseudo-mots variant en pitch de façon trochaïque comparativement au hasard ($m_A = 51.38$, $s_A = 10.30$; $m_{AV} = 49.11$, $s_{AV} = 12.39$; et $m_{ANV} = 52.70$, $s_{ANV} = 9.32$).

5.5.2.2 Analyse des réponses selon l'ordre de présentation des conditions

De façon à évaluer la contribution éventuelle de l'ordre de présentation des conditions sur le groupement iambo-trochaïque des tons purs chez les participants NT, nous avons réalisé des ANOVAs univariées avec comme facteurs inter-sujets le type d'autisme à trois modalités (syndrome d'Asperger, autisme verbal, et autisme non verbal) et l'ordre de présentation à trois modalités (en première position, en deuxième, et en troisième), pour chacune des trois conditions (durée, intensité, et pitch). Les résultats révèlent un effet principal de l'ordre pour l'intensité ($F(2, 124) = 11.46$, $p = .04$, $\eta^2_p = .88$). Il semblerait que les participants TSA groupent significativement plus les pseudo-mots variant en intensité de façon trochaïque lorsque cette condition est présentée en premier, que lorsqu'elle est présentée en seconde position (Sidak post-hoc, $p = .002$) ou en troisième position (Sidak post-hoc, $p < .0001$), et significativement plus lorsqu'elle est présentée en deuxième position plutôt qu'en troisième (Sidak post-hoc, $p = .003$). Aucun autre effet ni interaction n'atteint la significativité.

5.5.2.3 Analyse des réponses selon le type de liste

De façon à évaluer la contribution éventuelle du type de liste sur le groupement iambo-trochaïque des pseudo-mots chez les participants TSA, nous avons réalisé des ANOVAs avec comme facteurs inter-sujets le type d'autisme à trois modalités (syndrome d'Asperger, autisme verbal, et autisme non verbal) et le type de liste à deux modalités (commençant par un pseudo-mot iambique ou trochaïque), pour chacune des trois conditions (durée, intensité et pitch). Les résultats révèlent un effet principal du type d'autisme pour la durée ($F(2, 132) = 25.41$, $p = .04$, $\eta^2_p = .96$), mais sans interaction avec le type de liste. Cet effet sera détaillé dans la partie 5.5.2.6. Aucun autre résultat ni interaction

n'atteint la significativité. De ce fait, il semblerait que, chez les participants TSA, le type de liste n'ait pas d'effet sur le type de groupement de pseudo-mots variant en durée, en intensité, ou en pitch, et ce, quel que soit le type d'autisme.

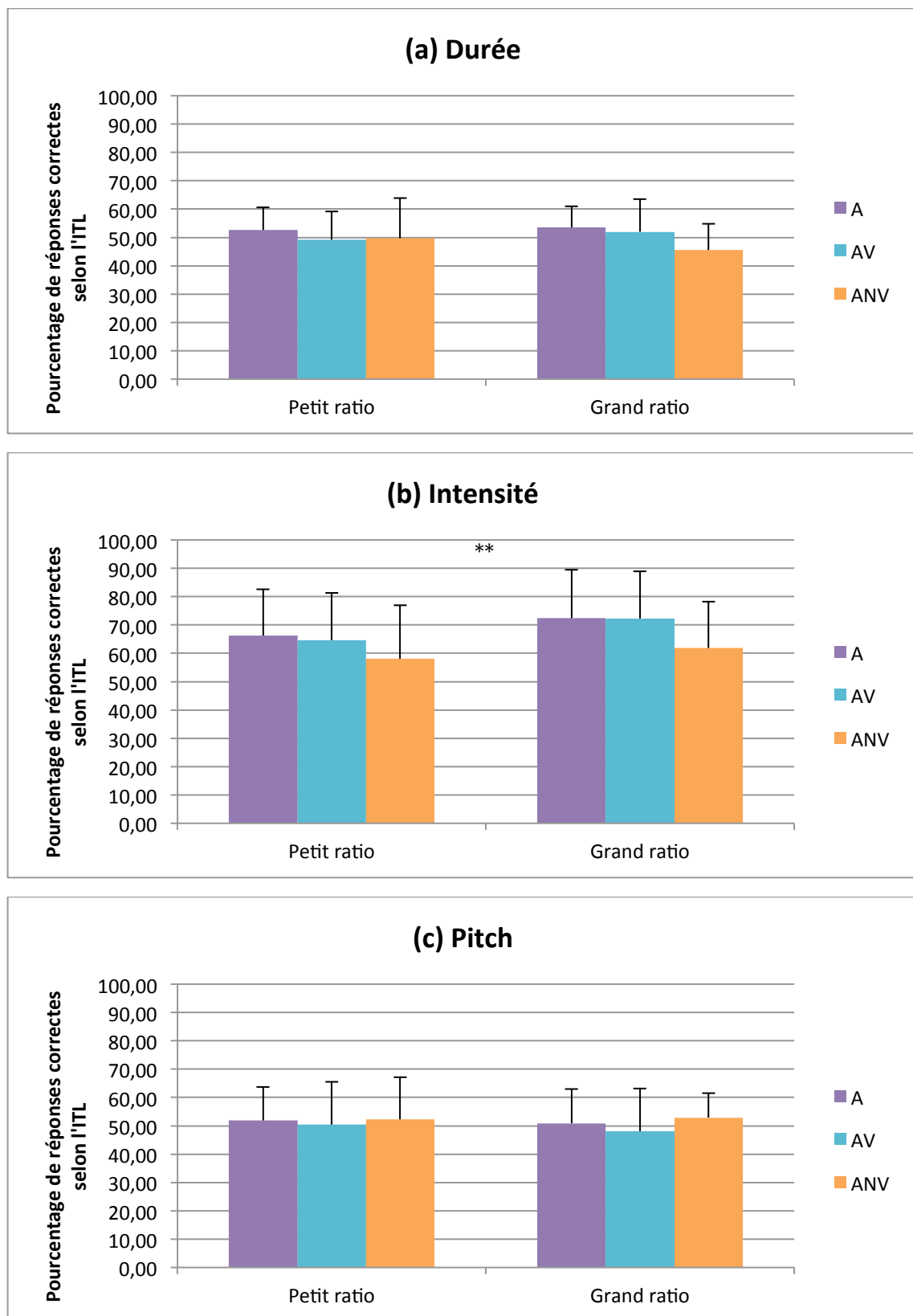
5.5.2.4 Analyse des réponses selon le nombre d'essais

De façon à évaluer la contribution éventuelle du nombre de pseudo-mots testés sur le groupement iambo-trochaïque des pseudo-mots chez les participants TSA, nous avons réalisé un modèle de régressions linéaires simples pour chacune des trois conditions (durée, intensité et pitch). Aucun effet n'atteint la significativité : le nombre total de pseudo-mots testés ne semble pas expliquer la variance du pourcentage de groupements iambo-trochaïques, et ce pour aucune des trois conditions.

5.5.2.5 Analyse des réponses selon le ratio

Afin de vérifier si le pourcentage de réponses correctes est fonction du ratio d'accentuation dans notre population TSA, nous avons réalisé des ANOVAs à mesures répétées, avec comme facteur intra-sujets le ratio à deux modalités (petit et grand), et comme facteur inter-sujets le type d'autisme à trois modalités (syndrome d'Asperger, autisme verbal, et autisme non verbal), pour chacune des trois conditions (durée, intensité, et pitch). Les résultats révèlent un effet principal du ratio pour l'intensité uniquement ($F(1, 129) = 10.30$, $p = .002$, $\eta^2_p = 0.07$) : les participants TSA groupent significativement plus les pseudo-mots variant en intensité de façon trochaïque lorsque le ratio d'accentuation est grand, que lorsqu'il est petit (Sidak post hoc, $p = .002$). Aucun autre effet ni interaction n'atteint la significativité : d'une part les résultats sont identiques quel que soit le type d'autisme, et d'autre part le groupement de pseudo-mots variant en durée ou en pitch est identique quel que soit le ratio d'accentuation (Figure 5-9).

Figure 5-9 : Pourcentage de groupements iambiques et trochaïques selon le ratio d'accentuation des pseudo-mots, pour (a) la durée, (b) l'intensité, et (c) le pitch, pour l'ensemble des participants TSA de l'Expérience 3.



5.5.2.6 Analyse des réponses selon l'âge

Afin d'évaluer la contribution éventuelle de l'âge des participants TSA sur le groupement iambo-trochaïque des pseudo-mots, nous avons réalisé un modèle de régressions linéaires simples, pour chacune des trois conditions (durée, intensité, et pitch), sur la variable dépendante pourcentage de réponses correctes, avec comme variable indépendante l'âge (en jours), d'abord pour l'ensemble des participants TSA, puis pour chacun des trois groupes (syndrome d'Asperger, autisme verbal, et autisme non verbal). Aucun résultat n'atteint la significativité : l'âge ne semble pas expliquer la variance du pourcentage correct de groupements iambo-trochaïques de pseudo-mots variant en durée, en intensité, ou en pitch, et ce, pour aucun des groupes de participants TSA.

5.5.2.7 Analyse des indices entre eux

Pour analyser la variabilité interindividuelle et pour comprendre si les résultats nuls dans les conditions de durée et de pitch sont dus à des distributions bimodales donnant une moyenne de 50% au niveau du groupe, mais correspondant à des préférences fortes au niveau individuel, nous avons réalisé des tests de normalité de Kolmogorov-Smirnov pour les groupes syndrome d'Asperger et autisme verbal, et un test de normalité de Shapiro-Wilk pour le groupe autisme non verbal¹⁵, pour chacune des trois conditions.

En ce qui concerne le groupe syndrome d'Asperger, aucun test de Kolmogorov-Smirnov n'est statistiquement significatif, et ce pour les trois conditions ($D_{durée} = .11$, $p = .09$; $D_{intensité} = .06$, $p = .20$; et $D_{pitch} = .10$, $p = .20$), indiquant des distributions normales pour la durée, l'intensité, et le pitch. Pour ce qui est du groupe autisme verbal, le test de Kolmogorov-Smirnov est statistiquement significatif pour la durée ($D_{durée} = .14$, $p = .002$), mais pas pour l'intensité et le pitch ($D_{intensité} = .10$, $p = .20$; et $D_{pitch} = .08$, $p = .20$), indiquant une distribution différente de la normale pour la durée, et des distributions normales pour l'intensité et le pitch. Enfin, concernant le groupe autisme non verbal, aucun test de Shapiro-Wilk n'atteint la significativité ($W_{durée} = .96$, $p = .71$; $W_{intensité} = .97$, $p = .85$; et $W_{pitch} = .89$, $p = .09$), indiquant des distributions normales pour la durée, l'intensité, et le pitch.

¹⁵ Le test de normalité de Kolmogorov-Smirnov s'applique pour des échantillons de $n \geq 30$, de ce fait, nous n'avons pas pu utiliser ce test pour le groupe autisme non verbal, pour lequel le nombre de participants est de 15. Pour ce groupe, le test de normalité de Shapiro-Wilk, applicable pour des échantillons de $n \leq 50$, était plus pertinent.

Par ailleurs, afin de mettre en évidence un lien éventuel entre les réponses pour les trois conditions, nous avons réalisé des analyses de corrélations bivariées entre les pourcentages de réponses correctes (iambiques ou trochaïques selon la condition) de chacune des trois conditions (durée, intensité et pitch), pour chacun des trois groupes de participants TSA.

Les résultats ne révèlent aucune corrélation significative entre les conditions pour le groupe syndrome d'Asperger ($p > .12$), ni pour le groupe autisme non verbal ($p > .18$). En revanche, pour le groupe autisme verbal, les résultats mettent en évidence des corrélations significatives entre l'intensité et les deux autres conditions : le pourcentage de réponses trochaïques pour l'intensité est positivement et moyennement corrélé au pourcentage de réponses iambiques pour la durée ($r = .24$, $p = .045$), et négativement et fortement corrélé au pourcentage de réponses trochaïques pour le pitch ($r = -.41$, $p = .001$). De ce fait, il semblerait que plus les participants TSA du groupe autisme verbal répondent trochaïquement pour l'intensité, et plus ils répondent iambiquement pour la durée et pour le pitch (à l'inverse de ce qui est attendu selon la loi iambo-trochaïque pour le pitch).

5.5.2.8 Analyse des réponses selon les seuils de discrimination auditive

En se basant sur l'hypothèse que les participants ayant les seuils les plus fins pourraient avoir une préférence plus marquée dans le groupement de syllabes, nous avons réalisé des analyses de corrélations et de régressions pour déterminer si les seuils de discrimination de la durée, du pitch de basses fréquences, et du pitch de hautes fréquences, étaient liés au groupement iambo-trochaïque de pseudo-mots variant en durée, en intensité, ou en pitch, pour chacune des trois groupes de participants TSA (syndrome d'Asperger, autisme verbal, et autisme non verbal).

Aucune corrélation significative n'est retrouvée pour le groupe syndrome d'Asperger ($p > .08$). Ainsi, il ne semble pas y avoir de lien entre les capacités de discrimination auditive, et le groupement de syllabes variant en durée, en intensité, ou en pitch, pour ce groupe de participants TSA.

En revanche, pour le groupe autisme verbal, les résultats révèlent des corrélations significatives, négatives et moyennes, entre le groupement de syllabes variant en intensité et les seuils pour la durée ($r = -.21$, $p = .02$) et le pitch de basses fréquences ($r = -.24$, $p = .006$) :

meilleurs sont les seuils de discrimination pour la durée et le pitch de basses fréquences des participants TSA du groupe autisme verbal, plus ils vont grouper de façon trochaïque les pseudo-mots variant en intensité. Afin d'établir quelle(s) variable(s) prédit significativement le groupement iambo-trochaïque de syllabes variant en intensité, les deux facteurs précédents ont été intégrés dans une régression pas à pas. La régression linéaire multiple pas à pas conduit alors à un modèle significatif ($F(1, 130) = 7.82, p = .006$) contenant uniquement le seuil de discrimination du pitch pour les basses fréquences comme prédicteur, ce dernier expliquant une part moyenne ($R^2 = 6\%$) de la variance du groupement trochaïque de syllabes variant en intensité chez les participants TSA de ce groupe (Figure 5-10).

De même, pour le groupe autisme non verbal, les résultats révèlent des corrélations significatives, négatives et fortes, entre le groupement de syllabes variant en durée et les seuils pour la durée ($r = -.68, p = .003$) et le pitch de basses fréquences ($r = -.43, p = .048$) : meilleurs sont les seuils de discrimination pour la durée et le pitch de hautes fréquences des participants TSA du groupe autisme non verbal, plus ils vont grouper de façon iambique les pseudo-mots variant en durée. Afin d'établir quelle(s) variable(s) prédit significativement le groupement iambo-trochaïque de syllabes variant en intensité, les deux facteurs précédents ont été intégrés dans une régression pas à pas. La régression linéaire multiple pas à pas conduit alors à un modèle significatif ($F(1, 20) = 16.87, p = .001$) contenant uniquement le seuil de discrimination de la durée comme prédicteur, ce dernier expliquant une part importante ($R^2 = 46\%$) de la variance du groupement iambique de syllabes variant en durée chez les participants TSA de ce groupe (Figure 5-11).

Figure 5-10 : Pourcentage de réponses correctes (trochaïques) pour le groupement de pseudo-mots variant en intensité, en fonction du seuil de discrimination obtenu pour le pitch de basses fréquences, pour l'ensemble des participants TSA de l'Expérience 3.

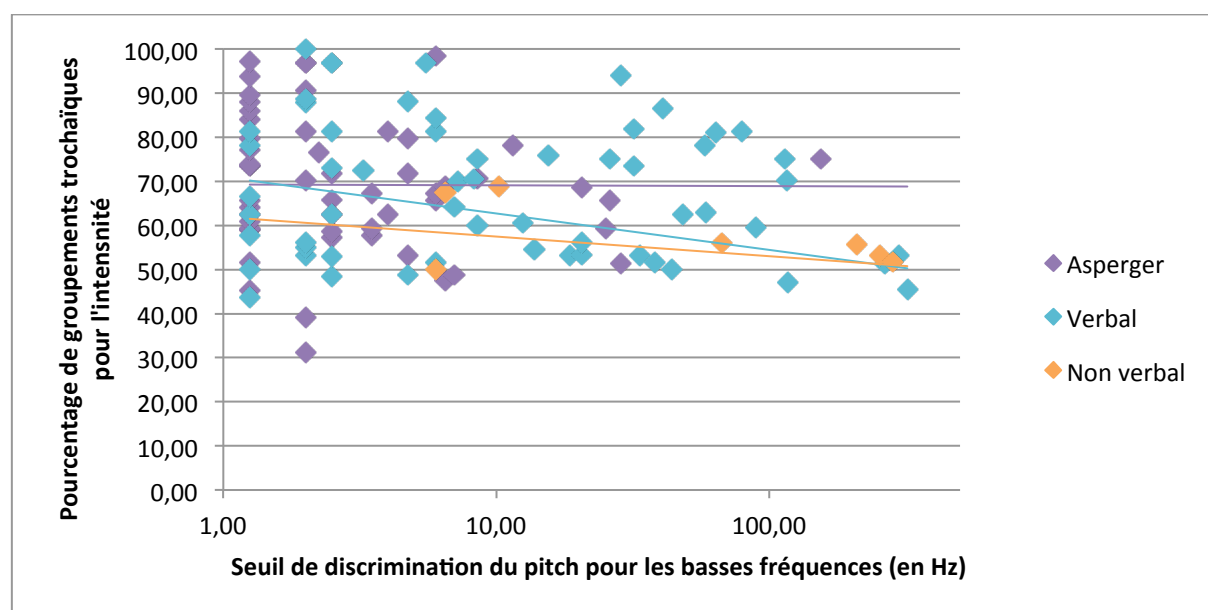
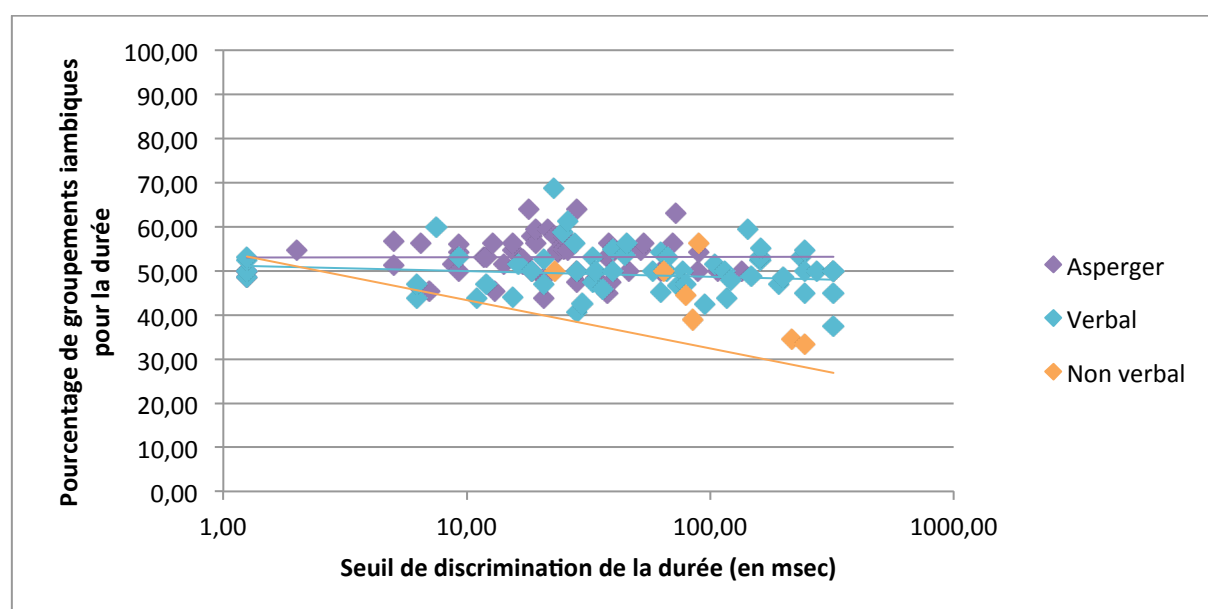


Figure 5-11 : Pourcentage de réponses correctes (iambiques) pour le groupement de pseudo-mots variant en durée, en fonction du seuil de discrimination obtenu pour la durée, pour l'ensemble des participants TSA de l'Expérience 3.



⇒ RESULTATS DES PARTICIPANTS TSA : RESUME

En utilisant une procédure similaire à celle utilisée dans l'Expérience 2, nous avons exploré la perception de l'ITL chez des enfants, adolescents, et adultes francophones,

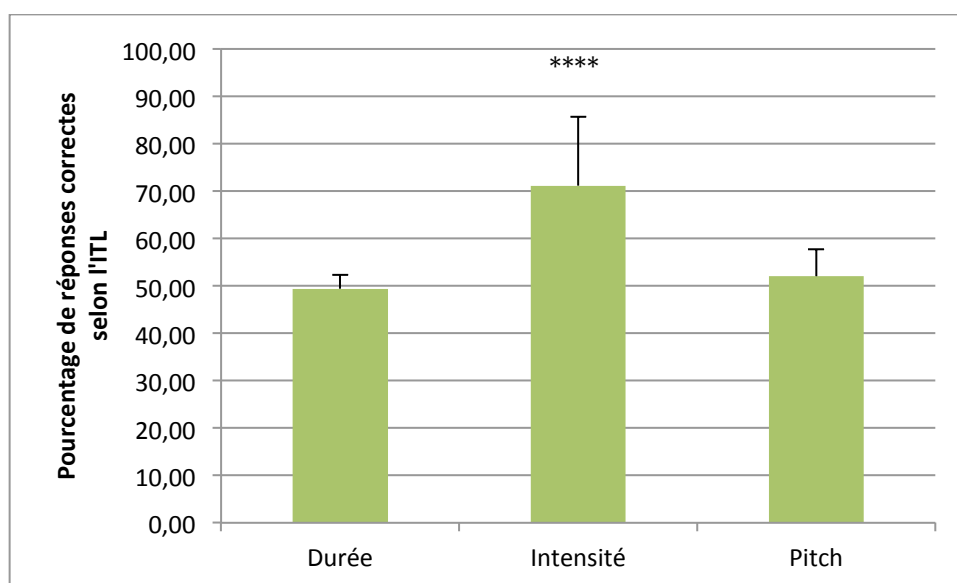
présentant un trouble du spectre autistique, avec un matériel linguistique. Le but de cette tâche était de déterminer de quelle manière les individus avec autisme groupent des séquences de syllabes variant en durée, en intensité, ou en pitch, et si et comment la perception de ces indices prosodiques évolue au cours du développement.

Nos résultats montrent, que les participants TSA francophones ne se comportent pas de la même façon selon leur type d'autisme. En effet, seuls les individus ayant le syndrome d'Asperger groupent préférentiellement les syllabes variant en durée de façon iambique, contrairement aux participants verbaux et non verbaux ayant un autre type d'autisme, qui eux ne montrent aucune préférence dans cette condition. En revanche, les trois groupes de participants TSA groupent préférentiellement les syllabes variant en intensité de façon trochaïque, mais ne groupent pas davantage les séquences variant en pitch de façon trochaïque ou iambique. De plus, alors que l'on observe un pattern développemental chez les participants NT, il n'en est rien chez les participants TSA : leur perception semble être stable au cours du développement. Enfin, nos résultats suggèrent un lien entre les capacités de discrimination et le groupement de pseudo-mots, mais seulement chez les individus TSA non Asperger : une bonne discrimination du pitch de basses fréquences semble favoriser le groupement trochaïque de l'intensité chez les participants du groupe autisme verbal, et une bonne discrimination de la durée semble favoriser le groupement iambique de la durée chez les participants du groupe autisme non verbal. Les implications théoriques de ces résultats seront abordées dans la discussion de ce chapitre.

5.5.3 Participants SW

Les résultats moyens des trois tâches sont présentés dans la Figure 5-12. Les figures montrent le pourcentage de réponses correctes selon l'ITL (iambiques pour la durée et trochaïques pour l'intensité et le pitch).

Figure 5-12 : Pourcentage de réponses correctes selon la loi iambo-trochaïque pour la durée (réponses iambiques), l'intensité et le pitch (réponses trochaïques), pour l'ensemble des participants SW de l'Expérience 3.



5.5.3.1 Analyse des groupements iambo-trochaïques (analyse principale)

Afin de vérifier si le pourcentage de réponses correctes est fonction de la condition dans notre population SW, nous avons réalisé une ANOVA à mesures répétées, avec comme facteur intra-sujets la condition à trois modalités (durée, intensité, et pitch). Les résultats révèlent un effet principal de la condition ($F(1.28, 15) = 23.42$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .61$) : les participants SW donnent significativement plus de bonnes réponses pour l'intensité (trochaïque) que pour la durée (iambique) (Sidak post-hoc, $p = .0002$) et le pitch (trochaïque) (Sidak post-hoc, $p = .001$).

Par ailleurs, afin de vérifier si le biais iambique s'applique pour la durée, et le biais trochaïque pour l'intensité et le pitch, dans notre population SW, nous avons réalisé des tests de Student sur le nombre de réponses correctes par rapport au hasard (50%), pour chacune des trois conditions (durée, intensité, pitch). Les résultats révèlent que les participants SW ont tendance à percevoir significativement plus les pseudo-mots variant en intensité de façon trochaïque ($m = 71.17$, $s = 14.50$) comparativement au hasard ($t(15) = 5.84$, $p < .0001$). Aucun autre résultat n'atteint la significativité : il n'y a pas de différence entre le

pourcentage de groupements iambiques comparativement au hasard pour la durée ($m=49.42$, $s=2.97$), ni entre le pourcentage de groupements trochaïques comparativement au hasard pour le pitch ($m=52.02$, $s=5.77$).

5.5.3.2 Analyse des réponses selon l'ordre de présentation des conditions

De façon à évaluer la contribution éventuelle de l'ordre de présentation des conditions sur le groupement iambo-trochaïque des tons purs chez les participants SW, nous avons réalisé des ANOVAs univariées avec comme facteur fixe l'ordre de présentation à trois modalités (en première position, en deuxième, et en troisième), pour chacune des trois conditions (durée, intensité, et pitch).

Les résultats révèlent un effet principal de l'ordre pour l'intensité ($F(2, 13)=4.22$, $p=.04$, $\eta^2_p=.39$). Il semblerait que les participants SW groupent davantage les pseudo-mots variant en intensité de façon trochaïque lorsque cette condition est présentée en premier, que lorsqu'elle est présentée en seconde position. Toutefois, cet effet est marginal (Sidak post-hoc, $p=.06$).

5.5.3.3 Analyse des réponses selon le type de liste

De façon à évaluer la contribution éventuelle du type de liste sur le groupement iambo-trochaïque des pseudo-mots chez les participants SW, nous avons réalisé des ANOVAs univariées avec comme facteur inter-sujets le type de liste à deux modalités (commençant par un pseudo-mot iambique ou trochaïque), pour chacune des trois conditions (durée, intensité et pitch).

Les résultats révèlent un effet principal du type de liste pour la condition intensité uniquement ($F(1, 14)=5.31$, $p=.04$, $\eta^2_p=.28$) : les participants SW ont tendance à grouper les pseudo-mots variant en intensité de façon trochaïque davantage lorsque la séquence est trochaïque (démarre avec une syllabe accentuée) comparativement à lorsque la séquence est iambique (démarre avec une syllabe non accentuée). Aucun autre résultat n'atteint la significativité.

5.5.3.4 Analyse des réponses selon le nombre d'essais

De façon à évaluer la contribution éventuelle de l'ordre de présentation des conditions sur le groupement iambo-trochaïque des tons purs chez les participants SW, nous avons réalisé des modèles de régressions linéaires simples pour chacune des trois conditions (durée, intensité et pitch).

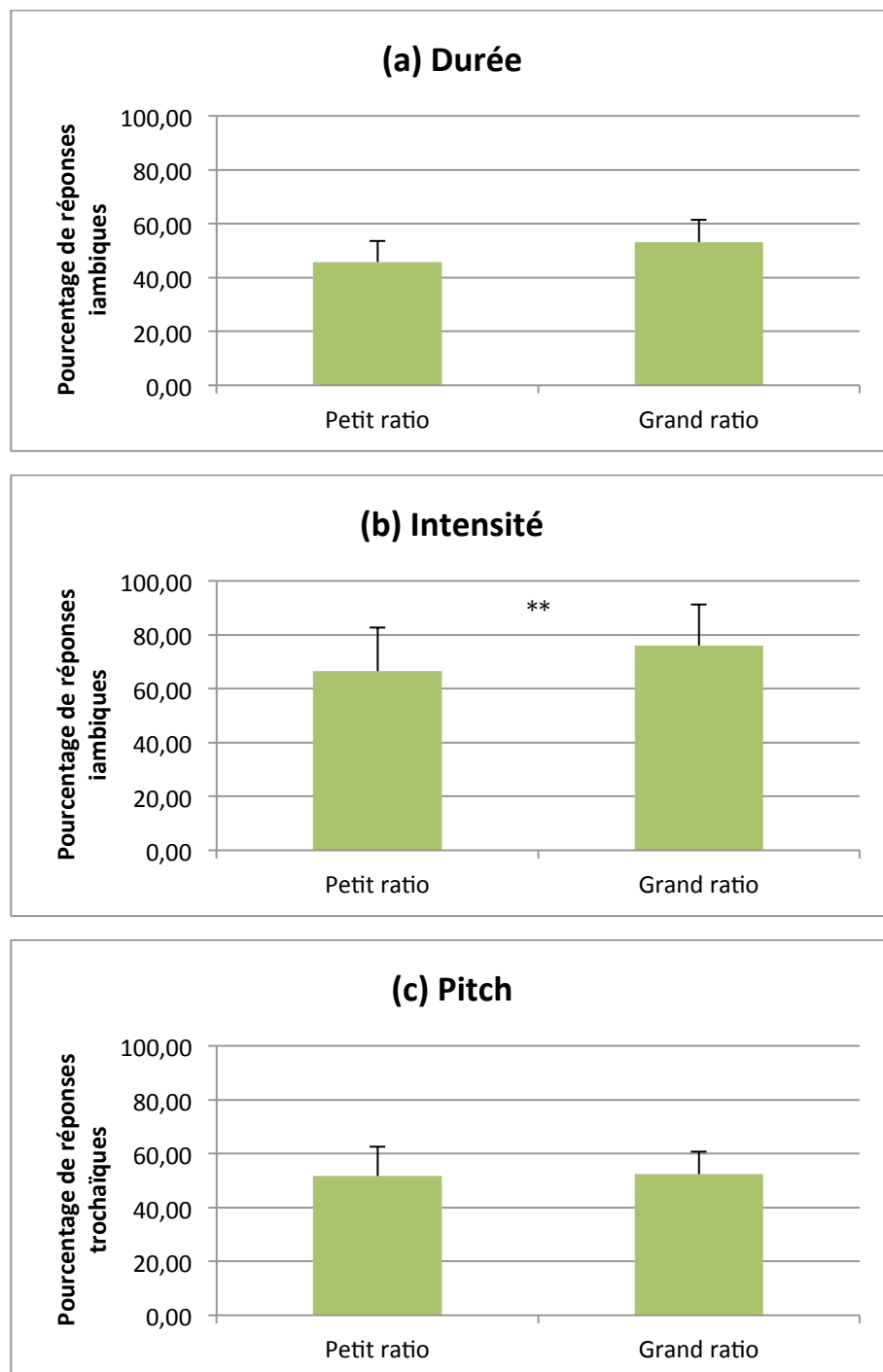
Les résultats révèlent que le nombre total de pseudo-mots testés chez les participants SW explique une part importante et significative ($R^2 = 46\%$) de la variance du pourcentage de groupements trochaïques de pseudo-mots variant en pitch ($F(1, 14) = 12.10$, $p = .004$). Ainsi, plus les participants SW ont à traiter de pseudo-mots variant en pitch, plus ils les groupent de façon trochaïque ($r = .68$). Aucun autre effet n'atteint la significativité : le nombre total de pseudo-mots testés ne semble pas expliquer la variance du pourcentage de groupements iambiques pour la durée, et trochaïques pour l'intensité.

5.5.3.5 Analyse des réponses selon le ratio

Afin de vérifier si le pourcentage de réponses correctes est fonction du ratio d'accentuation dans notre population SW, nous avons réalisé des ANOVAs à mesures répétées, avec comme facteur intra-sujets le ratio à deux modalités (petit et grand), pour chacune des trois conditions (durée, intensité et pitch).

Les résultats révèlent un effet principal du ratio pour l'intensité uniquement ($F(1, 15) = 10.01$, $p = .006$, $\eta^2_p = .40$) : le pourcentage de groupements trochaïques de pseudo-mots variant en intensité est significativement plus important lorsque le ratio d'accentuation est grand que lorsqu'il est petit (Sidak post-hoc, $p = .006$). Aucun autre effet n'atteint la significativité : le groupement de pseudo-mots variant en durée ou en pitch est identique quel que soit le ratio d'accentuation.

Figure 5-13 : Pourcentage de groupements iambiques et trochaïques selon le ratio d'accentuation des pseudo-mots, pour (a) la durée, (b) l'intensité, et (c) le pitch, pour l'ensemble des participants SW de l'Expérience 3.

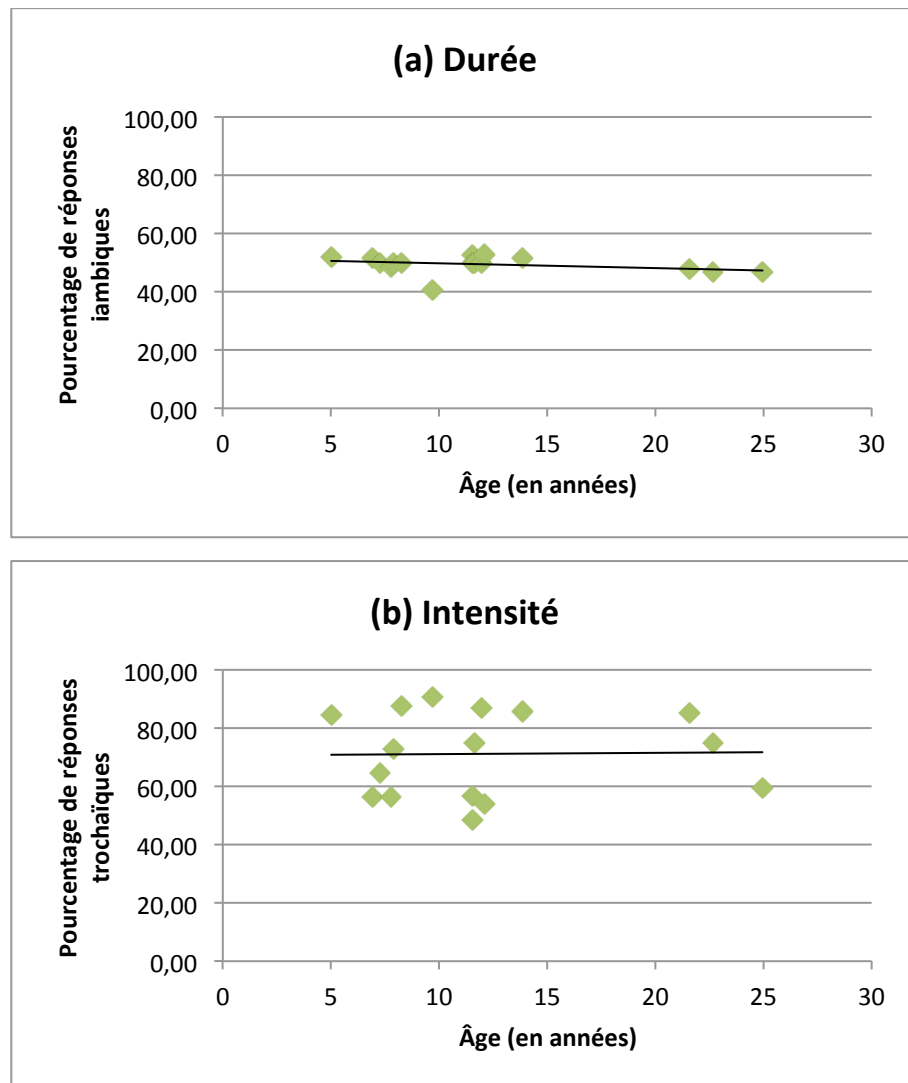


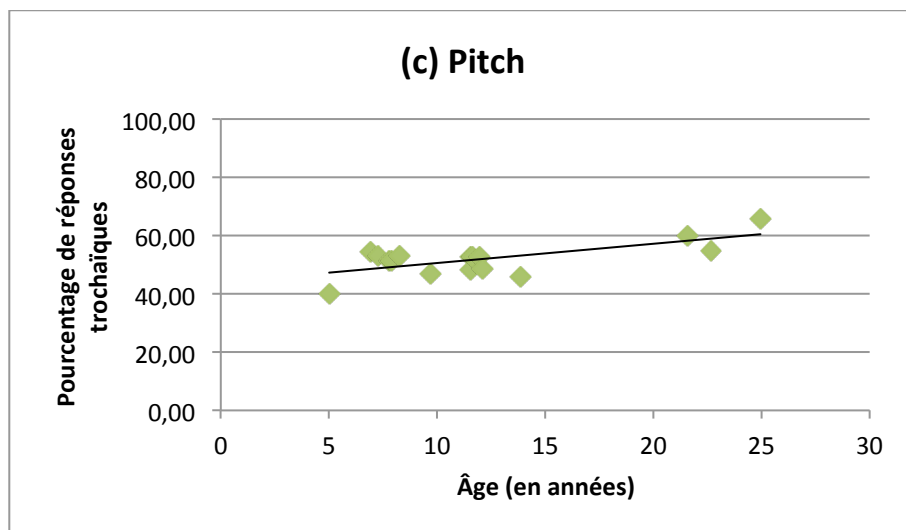
5.5.3.6 *Analyse des réponses selon l'âge*

Les résultats révèlent que l'âge explique une part importante ($R^2 = 46\%$) de la variance du pourcentage de groupements trochaïques de pseudo-mots variant en pitch ($F(1, 14) = 12,00$, $p = .004$) : plus les participants sont âgés, et plus ils vont grouper les pseudo-mots

variant en pitch de façon trochaïque ($r = .68$) (Figure 5-14-c). Aucun autre résultat n'atteint la significativité.

Figure 5-14 : Distribution des réponses iambo-trochaïques en fonction de l'âge (en années), pour chaque condition (a) durée, (b) intensité, et (c) pitch, pour l'ensemble des participants SW de l'Expérience 3.





5.5.3.7 Analyse des indices entre eux

Pour analyser la variabilité interindividuelle et pour comprendre si les résultats nuls dans les conditions de durée et de pitch sont dus à des distributions bimodales donnant une moyenne de 50% au niveau du groupe, mais correspondant à des préférences fortes au niveau individuelle, nous avons réalisé des tests de normalité de Shapiro-Wilk, pour chacune des trois conditions. Le test de Shapiro-Wilk est statistiquement significatif pour la durée ($W_{durée} = .83$, $p = .007$), mais pas pour l'intensité et le pitch ($W_{intensité} = .89$, $p = .06$; et $W_{pitch} = .94$, $p = .32$), indiquant une distribution différente de la normale pour la durée, et des distributions normales pour l'intensité et le pitch.

Par ailleurs, afin de mettre en évidence un lien éventuel entre les réponses pour les trois conditions, nous avons réalisé des analyses de corrélations bivariées entre les pourcentages de réponses correctes (iambiques ou trochaïques selon la condition) de chacune des trois conditions (durée, intensité et pitch). Aucun résultat n'atteint la significativité ($p > .18$). Il semblerait que les pourcentages de réponses correctes (iambiques ou trochaïques selon la condition) ne soient pas liés en eux.

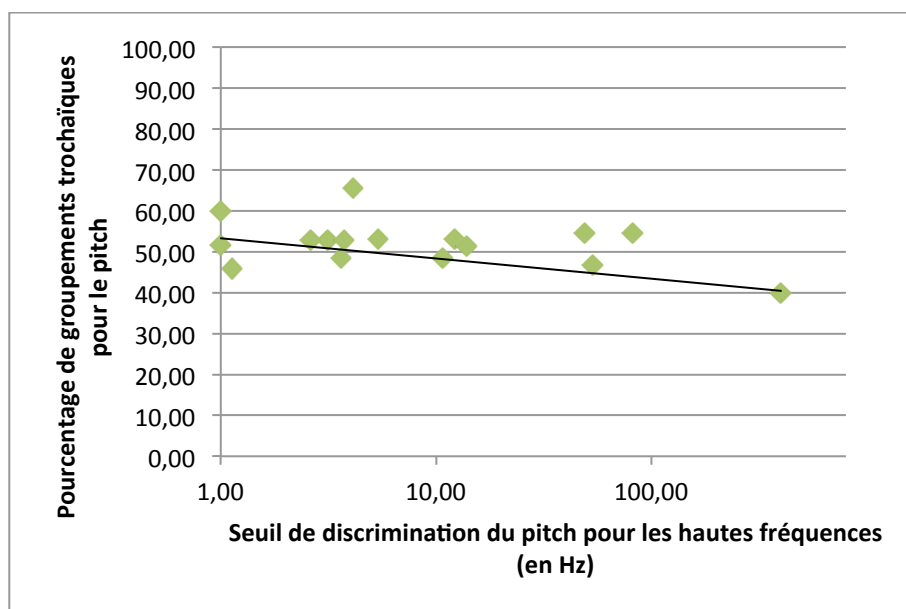
5.5.3.8 Analyse des réponses selon les seuils de discrimination auditive

En se basant sur l'hypothèse que les participants ayant les seuils les plus fins pourraient avoir une préférence plus marquée dans le groupement de syllabes, nous avons réalisé des analyses de corrélations et de régressions pour déterminer si les seuils de

discrimination de la durée, du pitch de basses fréquences, et du pitch de hautes fréquences, étaient liés au groupement iambo-trochaïque de pseudo-mots variant en durée, en intensité, ou en pitch.

Les résultats révèlent une corrélation significative, négative et forte, entre le groupement de syllabes variant en pitch, et le seuil pour le pitch de hautes fréquences ($r = -.55$, $p = .03$) : meilleurs sont les seuils de discrimination pour le pitch de hautes fréquences des participants SW, plus ils vont grouper de façon trochaïque les pseudo-mots variant en pitch. La régression linéaire simple conduit alors à un modèle significatif ($F(1, 14) = 6.11$, $p = .03$) dans lequel le seuil de discrimination du pitch pour les hautes fréquences explique une part importante ($R^2 = 30\%$) de la variance du groupement trochaïque de syllabes variant en pitch chez les participants SW (Figure 5-15).

Figure 5-15 : Pourcentage de réponses correctes (trochaïques) pour le groupement de pseudo-mots variant en pitch, en fonction du seuil de discrimination obtenu pour le pitch de hautes fréquences, pour l'ensemble des participants SW de l'Expérience 3.



⇒ RESULTATS DES PARTICIPANTS SW : RESUME

En utilisant une procédure similaire à celle utilisée dans l'Expérience 2, nous avons exploré la perception de l'ITL chez des enfants, adolescents, et adultes francophones, ayant le syndrome de Williams, avec un matériel linguistique. Le but de cette tâche était de déterminer de quelle manière les individus avec autisme groupent des séquences de syllabes

variant en durée, en intensité, ou en pitch, et si et comment la perception de ces indices prosodiques évolue au cours du développement.

Nos résultats montrent, que les participants SW francophones groupent préférentiellement les syllabes variant en intensité de façon trochaïque, mais ne groupent pas davantage les syllabes variant en durée ou en pitch de façon iambique ou trochaïque. De plus, il semble qu'il existe un pattern développemental pour le pitch, ces derniers choisissant de plus en plus les pseudo-mots trochaïques avec l'âge. Toutefois, cet effet ne semble être porté que par le petit nombre de participants adultes ($N = 3$) ; il est donc important de relativiser ce résultat. Enfin, nos résultats suggèrent un lien entre les capacités de discrimination et le groupement de pseudo-mots : une bonne discrimination du pitch de hautes fréquences semble favoriser le groupement trochaïque de syllabes variant en pitch chez les participants SW. Ces résultats seront interprétés dans la discussion de ce chapitre.

5.5.4 Comparaisons entre les groupes

Afin de vérifier si les participants perçoivent différemment les pseudo-mots selon leur groupe d'appartenance, nous avons réalisé des ANOVAs univariées avec comme facteur inter-sujets le type de participants à deux modalités (typique et atypique), pour chacune des trois conditions (durée, intensité, et pitch), et pour chacun des quatre groupes atypiques (syndrome d'Asperger, autisme verbal, autisme non verbal, et syndrome de Williams) en les comparant chacun à son propre groupe témoin.

5.5.4.1 Analyse des réponses selon le nombre d'essais

Afin de vérifier si la fatigabilité des participants est fonction de leur groupe d'appartenance, nous avons réalisé des ANOVAs univariées sur la variable dépendante nombre d'items tests traités, avec comme facteur inter-sujets le type de participants à deux modalités (typique et atypique), pour chacune des trois conditions (durée, intensité, et pitch), et pour chacun des quatre groupes atypiques (syndrome d'Asperger, autisme verbal, autisme non verbal, et syndrome de Williams).

5.5.4.1.1 Participants NT versus syndrome d'Asperger

Les résultats révèlent un effet principal du type sur le nombre d'items tests traités pour la durée ($F(1, 111) = 26.52, p < .0001, \eta^2_p = .19$), pour l'intensité $F(1, 111) = 21.86, p <$

.0001, $\eta^2_p = .17$), et pour le pitch ($F(1, 112) = 24.91$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .18$). En moyenne, les participants NT sont testés sur 11 items tests de plus que les participants TSA syndrome d'Asperger dans la condition de la durée (Sidak post-hoc, $p < .0001$), sur 10 items de plus dans la condition de l'intensité (Sidak post-hoc, $p < .0001$), et sur 11 items tests de plus dans la condition du pitch (Sidak post-hoc, $p < .0001$) (la procédure doit être arrêtée significativement plus tôt pour les participants TSA syndrome d'Asperger que pour les participants NT). De ce fait, les participants TSA syndrome d'Asperger sont testés sur significativement moins de mots que les participants NT contrôles.

5.5.4.1.2 *Participants NT versus autisme verbal*

Les résultats révèlent un effet principal du type sur le nombre d'items tests traités pour la durée ($F(1, 146) = 58.53$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .29$), pour l'intensité $F(1, 142) = 46.29$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .25$), et pour le pitch ($F(1, 146) = 53.13$, $p < .0001$, $\eta^2_p = .27$). En moyenne, les participants NT sont testés sur 17 items tests de plus que les participants TSA autisme verbal dans la condition de la durée (Sidak post-hoc, $p < .0001$), sur 14 items de plus dans la condition de l'intensité (Sidak post-hoc, $p < .0001$), et sur 15 items tests de plus dans la condition du pitch (Sidak post-hoc, $p < .0001$) (la procédure doit être arrêtée significativement plus tôt pour les participants TSA autisme verbal que pour les participants NT). De ce fait, les participants TSA autisme verbal sont testés sur significativement moins de mots que les participants NT contrôles.

5.5.4.1.3 *Participants NT versus autisme non verbal*

Les résultats révèlent un effet principal du type sur le nombre d'items tests traités pour la durée ($F(1, 26) = 14.75$, $p = .001$, $\eta^2_p = .37$), pour l'intensité $F(1, 25) = 10.42$, $p = .004$, $\eta^2_p = .30$), et pour le pitch ($F(1, 28) = 16.71$, $p = .0004$, $\eta^2_p = .38$). En moyenne, les participants NT sont testés sur 22 items tests de plus que les participants TSA autisme non verbal dans la condition de la durée (Sidak post-hoc, $p = .001$), sur 19 items de plus dans la condition de l'intensité (Sidak post-hoc, $p = .004$), et sur 22 items tests de plus dans la condition du pitch (Sidak post-hoc, $p = .0004$) (la procédure doit être arrêtée significativement plus tôt pour les participants TSA autisme non verbal que pour les participants NT). De ce fait, les participants TSA autisme non verbal sont testés sur significativement moins de mots que les participants NT contrôles.

5.5.4.1.4 Participants NT versus syndrome de Williams

Les résultats révèlent un effet principal du type sur le nombre d'items tests traités pour la durée ($F(1, 29) = 9.68, p = .004, \eta^2_p = .26$), pour l'intensité ($F(1, 29) = 9.76, p = .004, \eta^2_p = .26$), et pour le pitch ($F(1, 29) = 11.10, p = .002, \eta^2_p = .28$). En moyenne, les participants NT sont testés sur 15 items tests de plus que les participants SW dans les conditions de la durée (Sidak post-hoc, $p = .004$) et de l'intensité (Sidak post-hoc, $p = .004$), et sur 16 items tests de plus dans la condition du pitch (Sidak post-hoc, $p = .002$) (la procédure doit être arrêtée significativement plus tôt pour les participants SW que pour les participants NT). De ce fait, les participants SW sont testés sur significativement moins de mots que les participants NT contrôles.

5.5.4.2 Analyse des groupements iambo-trochaïques

Pour comparer les réponses des participants typiques et atypiques, nous avons réalisé des ANOVAs univariées sur la variable dépendante pourcentage de réponses correctes, avec comme facteur inter-sujets le type de participants à deux modalités (typique et atypique), pour chacune des trois conditions (durée, intensité, et pitch), et pour chacun des quatre groupes atypiques (syndrome d'Asperger, autisme verbal, autisme non verbal, et syndrome de Williams).

5.5.4.2.1 Participants NT versus syndrome d'Asperger

Aucun résultat n'atteint la significativité : les participants TSA syndrome d'Asperger se comportent de la même manière que leurs contrôles NT de même âge chronologique, pour les trois conditions (Figure 5-16-a).

5.5.4.2.2 Participants NT versus autisme verbal

Aucun résultat n'atteint la significativité : les participants TSA autisme verbal se comportent de la même manière que leurs contrôles NT de même âge chronologique, pour les trois conditions (Figure 5-16-b).

5.5.4.2.3 Participants NT versus autisme non verbal

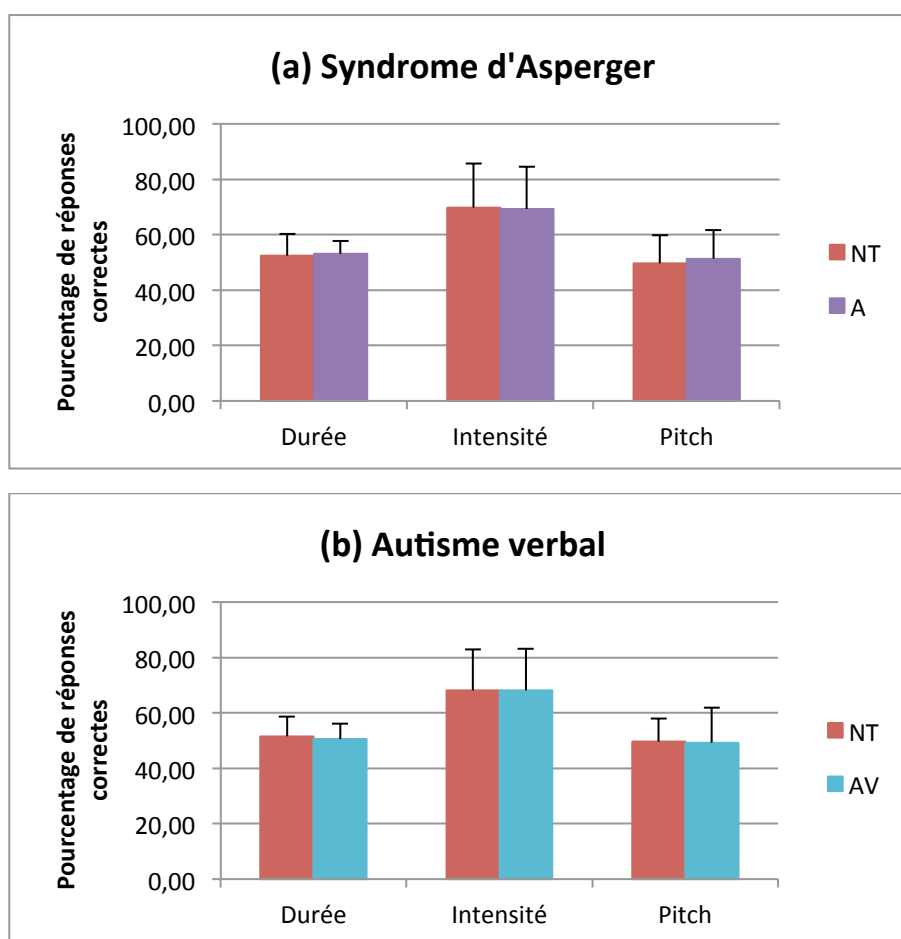
Les résultats révèlent un effet principal du type sur le pourcentage de groupements iambiques de pseudo-mots dans la condition durée ($F(1, 26) = 4.83, p = .04, \eta^2_p = .16$). Ainsi,

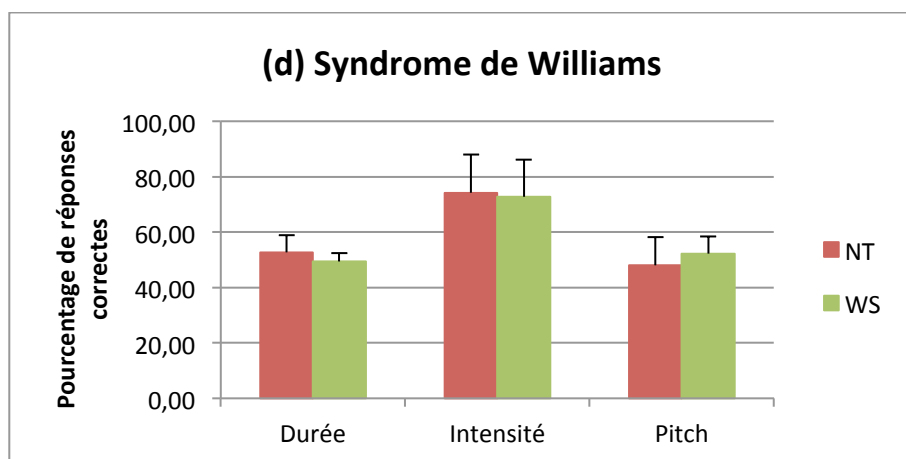
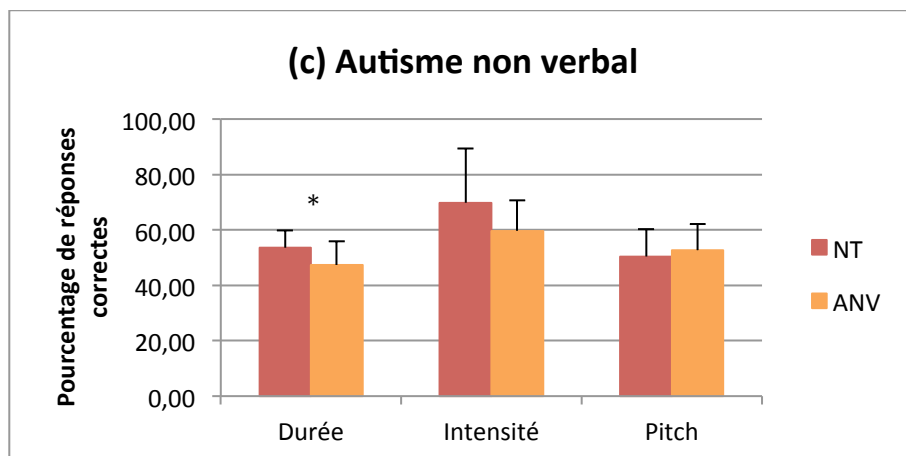
les participants TSA du groupe autisme non verbal ont tendance à grouper les pseudo-mots variant en durée significativement moins de façon iambique ($m = 47.28$, $s = 8.58$) que leurs contrôles neurotypiques ($m = 53.54$, $s = 6.44$). Aucun autre résultat n'atteint la significativité (Figure 5-16-c) : les participants TSA autisme non verbal se comportent de la même manière que leurs contrôles NT de même âge chronologique, pour les conditions intensité et pitch.

5.5.4.2.4 Participants NT versus syndrome de Williams

Aucun résultat n'atteint la significativité : les participants SW se comportent de la même manière que leurs contrôles NT de même âge chronologique, pour les trois conditions (Figure 5-16-d).

Figure 5-16 : Pourcentage de réponses correctes selon la loi iambo-trochaïque, pour chacune des trois conditions (durée, intensité, et pitch), pour les quatre groupes de participants atypiques (a) syndrome d'Asperger, (b) autisme verbal, (c) autisme non verbal, et (d) syndrome de Williams, comparativement à leurs contrôles NT de même âge chronologique, pour l'Expérience 3.





5.6 Discussion intermédiaire

Dans cette troisième expérience, nous avons exploré la perception de l'ITL à un niveau linguistique. Par cette étude, nous cherchions à déterminer la manière dont le groupement de syllabes est perçu, selon que ces derniers varient soit en durée, soit en intensité, soit en pitch, chez trois groupes de participants (des participants neurotypiques, des participants présentant un trouble du spectre autistique, et des participants ayant le syndrome de Williams) âgés de 3 à 60 ans. Cette étude, est également la première à s'intéresser à la perception de l'ITL dans l'autisme et dans le syndrome de Williams.

Les résultats de l'Expérience 3 sont synthétisés dans le Tableau 5-2. Globalement, nous tous les résultats observés sont conformes à ce qui est prédit par la loi iambo-trochaïque (Hayes, 1985, 1995; Nespor et al., 2008) : les pseudo-mots variant en durée sont groupés de façon iambique (*court – long*), et les pseudo-mots variant en intensité et en pitch sont groupés de façon trochaïque (*fort – faible* et *aigu – grave* respectivement). De plus, nos résultats sont en accord avec la littérature pour ce qui est du développement typique

(Abboub, 2015; Bhatara et al., 2013) : les participants francophones montrent un biais iambique pour les pseudo-mots variant en durée, ainsi qu'un biais trochaïque pour les pseudo-mots variant en intensité, et ce, quel que soit leur âge. En revanche, ils ne montrent aucune préférence pour les pseudo-mots variant en pitch. De plus, l'âge semble jouer un rôle dans le groupement iambo-trochaïque pour l'intensité et le pitch. Effectivement, dans la condition de l'intensité, les enfants de 4 ans choisissent moins souvent les pseudo-mots trochaïques que les groupes d'âge plus élevés, et dans la condition du pitch, ils choisissent davantage les pseudo-mots trochaïques que les enfants plus âgés, suggérant une diminution du biais trochaïque pour le pitch dans le courant de la maternelle, accompagné d'une augmentation du biais trochaïque pour l'intensité.

Par ailleurs, alors que nous retrouvons le biais trochaïque pour l'intensité dans chacun de nos quatre groupes atypiques (syndrome d'Asperger, autisme verbal, autisme non verbal, et syndrome de Williams), il n'en est rien pour le biais iambique pour la durée : pour cet indice prosodique, seuls les individus ayant le syndrome d'Asperger (ayant donc un développement typique du langage), montrent ce même biais iambique pour les syllabes variant en durée. De ce fait, pour ce qui est des deux groupes de participants TSA ayant participé aux Expériences 2 et 3, les résultats sont tout à fait similaires en ce qui concerne la perception des variations prosodiques de durée : seuls les individus avec autisme ayant eu un développement du langage typique semblent percevoir les variations de durée de la même manière que les individus typiques. De ce fait, comme nous l'avons suggéré dans nos hypothèses, le décalage dans le développement linguistique semble impacter le groupement iambique de la durée, tous les participants atypiques ayant un retard ou une absence de langage montrent une performance différente de celle des autres sous-groupes. En revanche, les individus TSA non verbaux ne se comportent pas différemment des deux autres groupes atypiques (TSA autisme verbal et SW).

De plus, tout comme pour l'Expérience 2, il semblerait également que les capacités de discrimination auditive aient un lien avec le groupement iambo-trochaïque de pseudo-mots, et plus particulièrement dans le développement typique. Effectivement, pour les participants NT, nous retrouvons le lien observé dans l'Expérience 2 entre le seuil de discrimination du pitch de basses fréquences et le groupement iambique de sons variant en

durée : meilleurs sont les seuils de discrimination pour le pitch de basses fréquences, plus les participants typiques vont grouper de façon *iambique* les pseudo-mots variant en durée. De plus, le pitch semble également expliquer la variance du pourcentage de groupements pour l'intensité : meilleurs sont les seuils de discrimination pour le pitch de hautes fréquences, plus les participants typiques vont grouper de façon *trochaïque* les pseudo-mots variant en intensité. Enfin, il semblerait que la durée explique la variance du pourcentage de groupements pour le pitch : cette fois-ci, les participants ayant les meilleurs seuils de discrimination de la durée semblent moins grouper les pseudo-mots variant en pitch de façon trochaïque, suggérant une prégnance de l'indice acoustique de durée sur le pitch. Dans le cas du développement atypique, les résultats sont plutôt variables. Nous ne trouvons aucun effet des seuils pour les participants ayant le syndrome d'Asperger. En revanche, les seuils de discrimination du pitch et de la durée sont liés aux groupements iambo-trochaïques chez les trois autres groupes atypiques. Ainsi, les participants autisme verbal ayant les meilleurs seuils de discrimination pour le pitch de basses fréquences semblent davantage grouper les pseudo-mots variant en intensité de façon trochaïque ; les participants autisme non verbal ayant les meilleurs seuils de discrimination pour la durée semblent davantage grouper les pseudo-mots variant en durée de façon iambique ; et les participants ayant le syndrome de Williams ayant les meilleurs seuils de discrimination pour le pitch de hautes fréquences semblent davantage grouper les pseudo-mots variant en pitch de façon trochaïque. Tout comme dans le chapitre précédent, il est difficile de déterminer comment ces seuils sont liés à l'ITL. Pour les participants TSA non verbaux les résultats sont plutôt logiques puisque la discrimination de la durée est liée au groupement de sons variant en durée, mais pour les trois autres groupes (NT, AV, et SW), c'est beaucoup moins évident. De ce fait, peut-être qu'effectivement de bonnes capacités de discrimination rendent les individus plus sensibles aux variations prosodiques, quel que soit l'indice, et donc ainsi plus sensibles aux biais de groupement prédits par l'ITL.

Tableau 5-2 : Synthèse des résultats obtenus à l'Expérience 3, pour l'ensemble des participants (NT, TSA, et SW), la variabilité liée à l'âge, ainsi que l'influence des capacités de discrimination, pour la perception de l'ITL dans chacune des trois conditions (durée, intensité, et pitch). (D = durée ; BF = basses fréquences ; HF = hautes fréquences)

	Préférence			Pattern développemental			Influence de la discrimination		
	Durée	Intensité	Pitch	Durée	Intensité	Pitch	Durée	Intensité	Pitch
Neuro typiques	iamb.	troch.	✗	✗	✓	✓	✓ (BF)	✓ (HF)	✓ (D)
Syndrome d'Asperger	iamb.	troch.	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Autisme verbal	✗	troch.	✗	✗	✗	✗	✗	✓ (BF)	✗
Autisme non verbal	✗	troch.	✗	✗	✗	✗	✓ (D)	✗	✗
Syndrome de Williams	✗	troch.	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✓ (HF)

6. CHAPITRE 6 (EXPERIENCE 4) :

« BOOTSTRAPPING » DE L'ORDRE DES MOTS

6.1 Introduction

L'objectif de cette expérience est de mettre en évidence le rôle des indices fréquentiels et prosodiques dans l'apprentissage de l'ordre des mots dans un nouveau matériel linguistique, à différents âges de la vie (de 10 à 60 ans), à la fois dans le développement typique et dans le développement atypique.

Nous savons que, entre 6 et 9 mois, les nourrissons sont capables d'utiliser le mécanisme de *bootstrapping* (ou « initialisation » en français) pour segmenter et organiser un signal de parole artificiel (Bernard & Gervain, 2012; Gervain et al., 2008; Gervain & Werker, 2013; Mazuka, 1996; James L Morgan & Demuth, 1996b; Nespor et al., 2008; Shukla & Nespor, 2009; Weissenborn, Höhle, Kiefer, & Cavar, 1996). Effectivement, comme mentionné dans l'Introduction générale, Bernard & Gervain (2012) ont montré que, dans des conditions identiques à celles de la présente étude, et avec les mêmes stimuli, les bébés francophones de 8 mois sont capables d'isoler les séquences de mots dans le flux de parole d'une grammaire artificielle, et montrent une réelle préférence pour les syntagmes reflétant l'ordre des mots de leur langue maternelle (notamment le pattern « mot fréquent – mot non fréquent », c'est-à-dire un pattern dans lequel le mot de fonction est suivi du mot de contenu).

A l'âge adulte, les locuteurs suivent de plus près les statistiques de leur langue maternelle : les données trouvées suggèrent que, dans ces tâches, ils prennent en compte à la fois des informations sur l'ordre des mots et également l'ordre des morphèmes dans leur langue maternelle (Gervain et al., 2013). Ainsi, les locuteurs de langues OV et agglutinantes, comme le japonais, le turc ou le basque, montrent une préférence pour les séquences [*infréquent – fréquent*] reflétant l'ordre des mots de contenu et des mots de fonction dans la syntaxe et la morphologie de leur langue maternelle, tandis que les locuteurs de langues VO et flexionnelles donc suffixantes, comme le français, l'anglais ou l'italien, ne montrent pas de préférence car l'ordre [*infréquent – fréquent*] n'est typique que dans leur syntaxe mais pas dans leur morphologie, qui, elle, utilise des suffixes fréquents.

De ce fait, on pourrait observer un effet de l'âge : il est possible que les plus jeunes participants réussissent la tâche (parviennent à segmenter le discours artificiel et à préférer les items tests VO), contrairement aux participants plus âgés/adultes, et ceci dans nos trois

groupes (NT, TSA et SW). Toutefois, nous pourrions observer un effet des capacités de discrimination. En effet, il est possible que les participants (notamment les adultes) ayant les seuils de discrimination les plus bas soient plus sensibles à la prosodie, et puisse davantage discriminer les variations de durée contenues dans le flux de parole artificiel que les participants ayant des capacités de discrimination moins fines. Ainsi, si, pour ce groupe, les informations prosodiques prennent le dessus sur les informations fréquentielles, nous pourrions observer des profils adultes segmentant correctement le flux de parole artificiel, et préférant alors les items VO, typiques du français. Cette hypothèse est d'ailleurs valable pour les trois groupes de participants (NT, TSA et SW).

Selon notre hypothèse que la variabilité des capacités perceptives de bas niveau chez les personnes avec autisme serait à l'origine d'une perturbation des représentations qui devraient servir d'input pour l'acquisition du langage, nous pourrions observer de moins bonnes performances chez les participants TSA, comparativement aux participants NT et SW. En revanche, en suivant l'hypothèse du fonctionnement perceptif amélioré de Mottron & Burack (2001), stipulant que les personnes avec autisme montrent des performances supérieures dans les modalités visuelles et auditives, nous pourrions observer un avantage des participants TSA sur les participants NT et SW.

6.2 Matériel et méthode

6.2.1 *Stimuli*

Le matériel utilisé est identique à celui utilisé dans les travaux de Bernard & Gervain (2012). Nous avons créé une grammaire artificielle, contenant une structure sous-jacente ambiguë : elle consistait en la répétition d'une unité de base (de type AXBY) contenant quatre syllabes. Les catégories X et Y correspondaient chacune à une seule et unique syllabe (respectivement *fi* et *ge*), alors que les catégories A et B pouvaient correspondre à neuf syllabes différentes (respectivement *ru*, *pe*, *du*, *ba*, *fo*, *de*, *pa*, *ra*, *to*, et *mu*, *ri*, *ku*, *bo*, *bi*, *do*, *ka*, *na*, *ro*), les rendant ainsi neuf fois moins fréquentes que les syllabes X et Y (Figure 6-1).

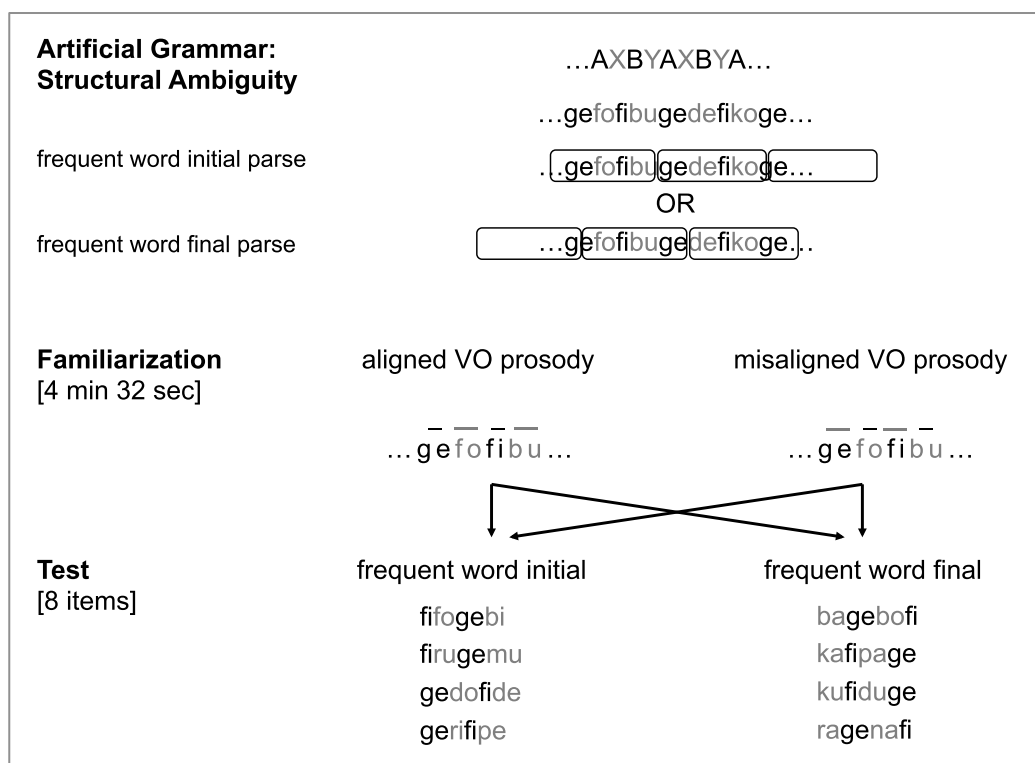
Cette structure de base a permis de construire un flux continu d'une alternance stricte de mots fréquents (X et Y) et de mots non fréquents (A et B), imitant ainsi la distribution fréquentielle respective des mots de fonction et des mots de contenu des langues naturelles. Afin de masquer toute information quant à sa structure, le flux de parole

était rampé bilatéralement de manière exponentielle sur 15 secondes. De ce fait, la structure du discours artificiel était globalement ambiguë quant à la place des mots fréquents en début de syntagme/phrased (avec un ordre tel que *mot fréquent – mot non fréquent* ; type XBYA) ou en fin de syntagme/phrased (avec un ordre tel que *non fréquent – fréquent* ; type AXBY). L'ensemble du signal sonore a été synthétisé en utilisant la voix féminine FR4 de la base de données MBROLA.

Pendant la phase de familiarisation, toutes les syllabes avaient un pitch (200Hz) et une intensité (85 dB) constants. En revanche, nous avons manipulé la durée comme variation prosodique : les mots fréquents étaient systématiquement plus courts (240 msec) que les mots non fréquents (320 msec). Ce contraste de durée a créé une prosodie qui était similaire à celle des langues dont l'ordre des mots est de type Verbe-Objet (VO), comme le français, et dans lesquelles la fréquence des mots et leur durée vont dans le même sens de groupement. La durée totale du discours artificiel était de 4 min 32 sec.

La phase de test était composée de 8 items organisés en séquences de quatre syllabes (deux syllabes fréquentes et deux non fréquentes, qui alternaient) provenant du flux de parole artificiel : quatre séquences commençaient par un mot fréquent (XBYA) (correspondant à une langue VO : *fifogebi/firugemu/gedofipe/gerifipe*), et les quatre autres commençaient par un mot non fréquent (AXBY) (correspondant à une langue OV : *kafipage/kufiduge/bagebofi/ragenafi*). Dans cette phase, tous les indices prosodiques étaient constants, et la durée de chaque syllabe était alors de 240 msec. La durée totale de chaque item test était de 960 msec.

Figure 6-1 : Détails du matériel utilisé pour l'Expérience 4 (seule la condition « *aligned* » a été utilisée) (schéma issu de Bernard & Gervain, 2012).

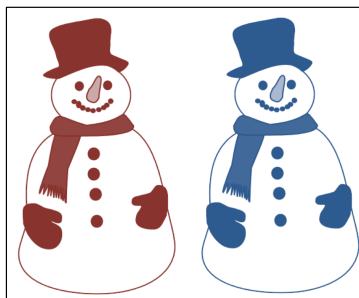


6.2.2 Procédure

Le paradigme a été programmé à l'aide de PsyScope X (disponible sur le site <http://psy.ck.sissa.it/>). Durant la phase de familiarisation, chaque participant était placé devant un ordinateur, et visionnait un extrait du film d'animation *The Snowman* de Raymond Briggs, en couleurs, sans paroles et sans musique, afin de rendre cette partie de la tâche plus intéressante pour les jeunes participants. La phase de test, qui suivait directement la phase de familiarisation, était une procédure à choix forcé : les participants entendaient 16 paires de phrases (chaque paire contenant une séquence VO et une séquence OV), et devaient choisir la phrase qu'ils reconnaissaient avoir entendue dans le discours de familiarisation. Chaque phrase était présentée simultanément à l'apparition d'un bonhomme de neige sur l'écran d'ordinateur (rouge à gauche, et bleu à droite). Une seconde après la présentation de la première phrase, le bonhomme de neige associé (rouge) disparaissait et laissait apparaître le second (Figure 6-2). Puis 500 msec après la présentation de la deuxième phrase, le bonhomme de neige rouge réapparaissait. La tâche était d'appuyer sur le bouton du clavier

correspondant à la phrase (et au bonhomme de neige) choisie. L'ordre de présentation des items était randomisé et contrebalancé selon les sujets (design inter-sujets).

Figure 6-2 : Visuel de la phase de test créée pour l'Expérience 4.



Pour les passations expérimentales réalisées en laboratoire, les participants étaient assis confortablement dans une pièce silencieuse, et les stimuli étaient présentés via PsyScope X, sur un MacBook Air portable, à l'aide d'un casque Sennheiser HD449. Pour les passations expérimentales réalisées dans les écoles ou à domicile, le matériel était identique, et les enfants étaient assis confortablement dans une pièce isolée des salles de classe, de la cour de récréation ou de toute autre source de bruit. L'expérience 4 durait approximativement 10 minutes.

6.3 Participants

6.3.1 *Participants NT*

251 (109 filles) enfants, adolescents et adultes, francophones, neurotypiques, âgés de 3 ans 5 mois à 60 ans 2 mois (âge moyen : 12 ans 11 mois), ont participé à l'Expérience 4.

6.3.2 *Participants TSA*

114 (24 filles) enfants, adolescents et adultes, francophones, présentant un trouble du spectre autistique, âgés de 5 ans 1 mois à 54 ans 3 mois (âge moyen : 16 ans 5 mois), ont participé à l'Expérience 4 : 54 participants du groupe syndrome d'Asperger, 56 participants du groupe autisme verbal, et 4 participants du groupe autisme non verbal. Les autres participants TSA (59) n'ont soit pas compris la consigne, soit pas voulu participer à cette expérience.

6.3.3 Participants SW

16 (2 filles) enfants, adolescents et adultes, francophones, ayant le syndrome de Williams, âgés de 5 ans 0 mois à 24 ans 11 mois (âge moyen : 12 ans 2 mois), ont participé à l'Expérience 4.

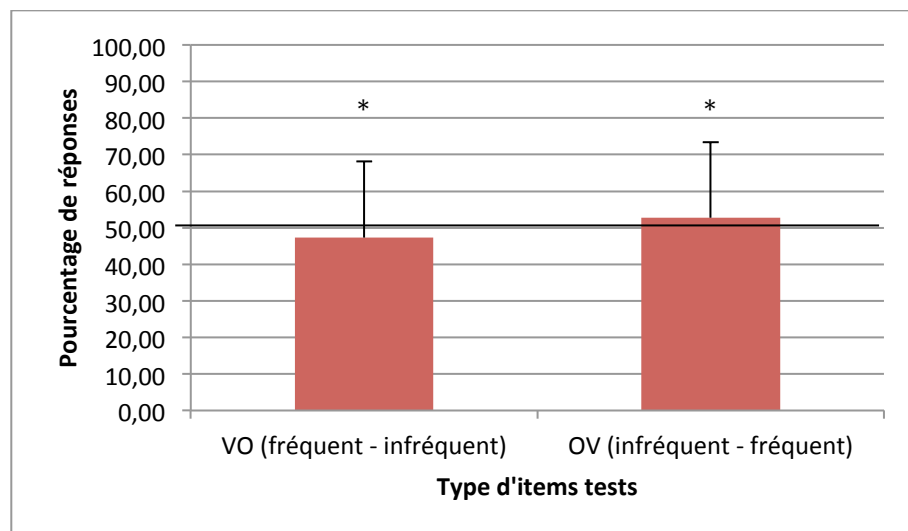
6.4 Résultats

6.4.1 Participants NT

6.4.1.1 Analyse de la segmentation (analyse principale)

Afin de vérifier si les participants NT montrent une préférence dans le choix des syntagmes VO ou OV, nous avons réalisé un test de Student sur le nombre de réponses VO par rapport au hasard. Les résultats révèlent que les participants NT ont tendance à choisir significativement plus les syntagmes organisés de façon OV ($m = 52.70$, $s = 20.79$) comparativement au hasard ($t(250) = -2.05$, $p = .04$) (Figure 6-3).

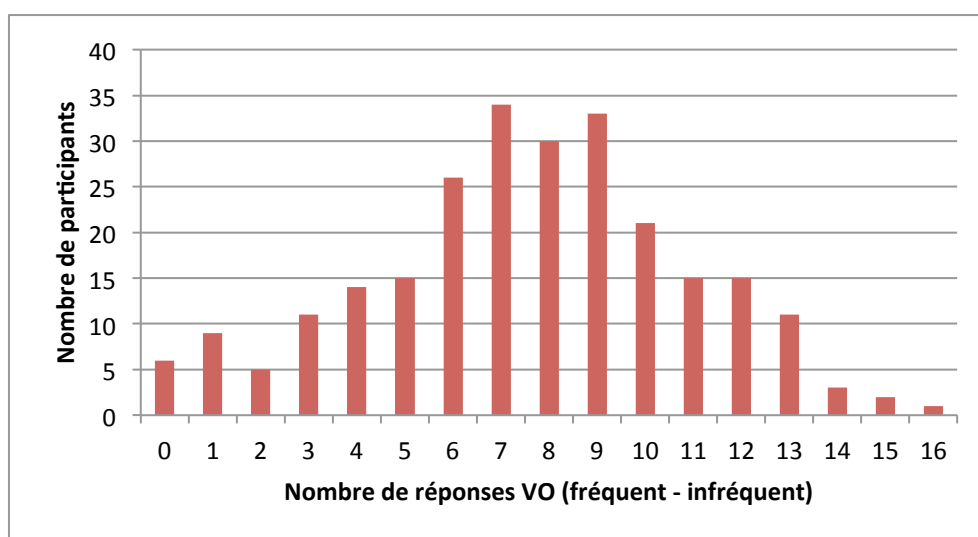
Figure 6-3 : Pourcentage (moyenne et écart-type) de groupements VO (fréquent-infréquent) et OV (infréquent-fréquent) chez l'ensemble des participants NT de l'Expérience 4.



Etant donnée la grande variabilité dans les réponses et la valeur numériquement proche du hasard de la moyenne, nous avons vérifié si les résultats précédents ne pourraient pas dissimuler une distribution bimodale avec une partie des participants ayant une forte préférence VO et une autre partie des participants ayant une forte préférence OV. Nous

donc avons réalisé un test de normalité de Kolmogorov-Smirnov pour l'ensemble des participants NT. Les résultats révèlent une distribution normale des réponses VO chez l'ensemble des participants NT ($D = .09$, $p < .0001$) (Figure 6-4).

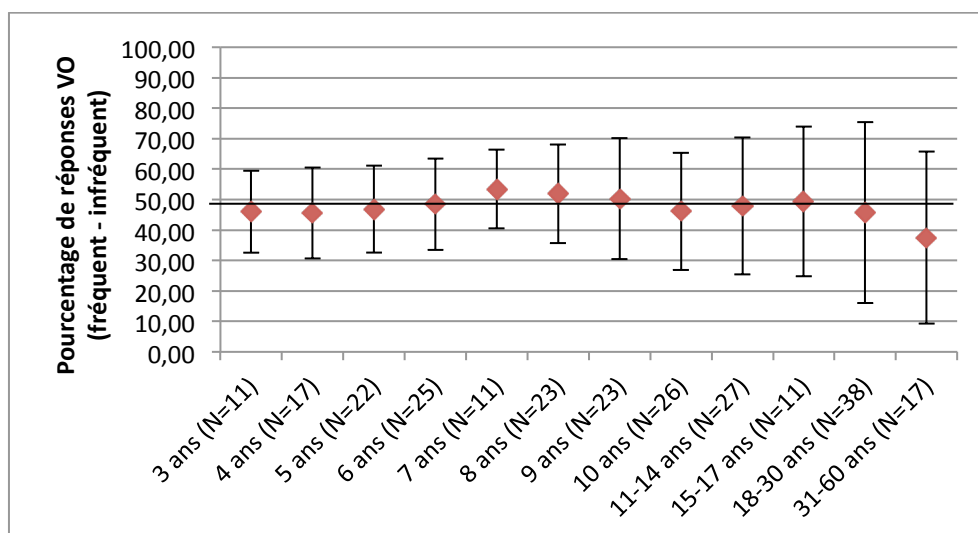
Figure 6-4 : Distribution des réponses VO (fréquent – infrequent) observées pour les 16 items tests, pour l'ensemble des participants NT de l'Expérience 4.



6.4.1.2 Analyse des réponses selon l'âge

Afin d'évaluer la contribution éventuelle de l'âge des participants NT sur la préférence dans le choix des syntagmes VO ou OV, nous avons réalisé une ANOVA univariée sur la variable dépendante pourcentage de réponses VO (qui correspond à la réponse correcte), avec comme facteur inter-sujets le groupe d'âge à 12 modalités (3 ans, 4 ans, 5 ans, 6 ans, 7 ans, 8 ans, 9 ans, 10 ans, 11-14 ans, 15-17 ans, 18-30 ans, et 31-60 ans). Aucun résultat n'atteint la significativité ($F(11, 250) = .63$, $p = .81$, $\eta^2_p = .03$) : quel que soit leur groupe d'âge d'appartenance, les participants NT segmentent le langage artificiel de la même manière.

Figure 6-5 : Pourcentage de réponses VO (moyenne et écart-type) en fonction du groupe d'âge des participants NT de l'Expérience 4.



6.4.1.3 Analyse des réponses selon les seuils de discrimination auditive

En se basant sur l'hypothèse que les participants ayant les seuils les plus fins pourraient avoir une préférence plus marquée dans le groupement VO ou OV, nous avons réalisé des analyses de corrélations et de régressions pour déterminer si les seuils de discrimination de la durée, du pitch de basses fréquences, et du pitch de hautes fréquences, étaient liés à la segmentation de la langue artificielle. Aucune corrélation n'atteint la significativité ($p > .39$), suggérant que le pourcentage de segmentation VO ou OV n'est pas lié aux seuils de discrimination auditive.

⇒ **RESULTATS DES PARTICIPANTS NT : RESUME**

En utilisant la même procédure que Bernard & Gervain (2012), nous avons exploré la manière dont les participants NT segmentent la parole. Le but de cette tâche était de déterminer si les individus typiques étaient capables d'utiliser les indices prosodiques et fréquentiels pour déterminer l'ordre des mots d'une langue artificielle organisée de la même manière que le français.

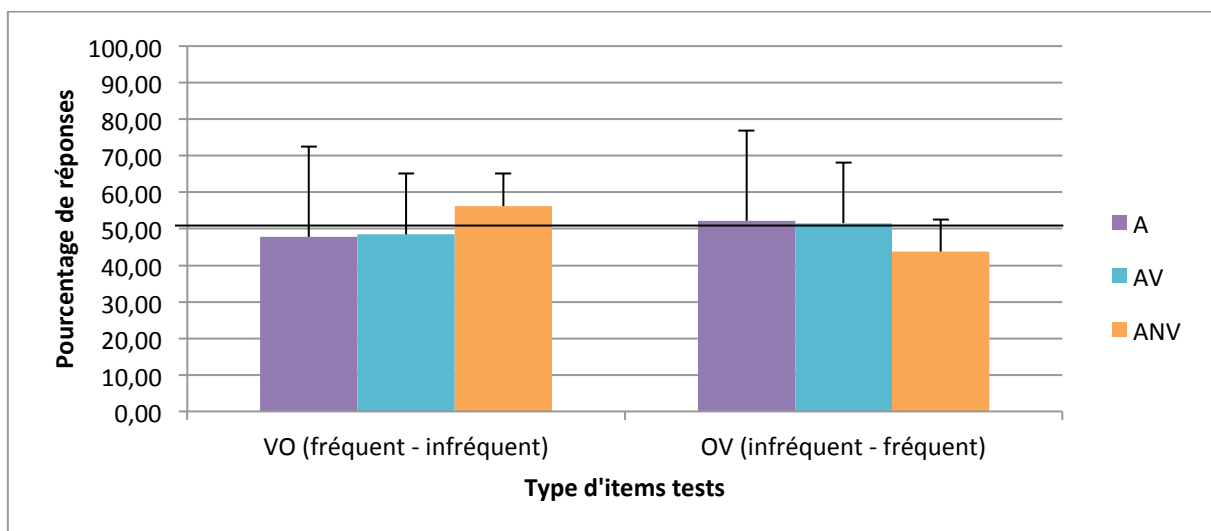
Nos résultats révèlent que les participants neurotypiques francophones ne montrent pas la préférence attendue pour les syntagmes structurés dans un ordre VO, mais, au contraire, choisissent préférentiellement les syntagmes structurés dans un ordre OV, et ce quel que soit leur âge. Par ailleurs, aucun lien n'est mis en évidence entre les capacités de discrimination auditive et le groupement OV/VO.

6.4.2 Participants TSA

6.4.2.1 Analyse de la segmentation (analyse principale)

Afin de vérifier si les participants TSA montrent une préférence dans le choix des syntagmes VO ou OV, nous avons réalisé des tests de Student sur le nombre de réponses VO par rapport au hasard. De plus, pour comparer les préférences selon le type d'autisme, nous avons également réalisé une ANOVA univariée sur la variable dépendante pourcentage de réponses VO, avec comme facteur inter-sujets le type d'autisme à trois modalités (syndrome d'Asperger, autisme verbal, et autisme non verbal). Aucun résultat n'atteint la significativité ; les participants TSA ne choisissent pas plus les syntagmes organisés de façon VO ($m_{VO}=48.41$, $s_{VO}=20.68$), comparativement au hasard ($t(113)= -.82$, $p= .41$), et ce quel que soit leur type d'autisme (pour le groupe syndrome d'Asperger : $m_A=47.80$, $s_A=24.77$, $t(53)= -.65$, $p= .52$; pour le groupe autisme verbal : $m_{AV}=48.44$, $s_{AV}=16.65$, $t(55)= -.70$, $p= .49$; pour le groupe autisme non verbal : $m_{ANV}=56.25$, $s_{ANV}=8.84$, $t(3)= 1.41$, $p= .25$). Toutefois, le groupe de participants TSA autisme non verbal étant très petit ($N=4$), les résultats pour ce groupe sont à interpréter avec précaution.

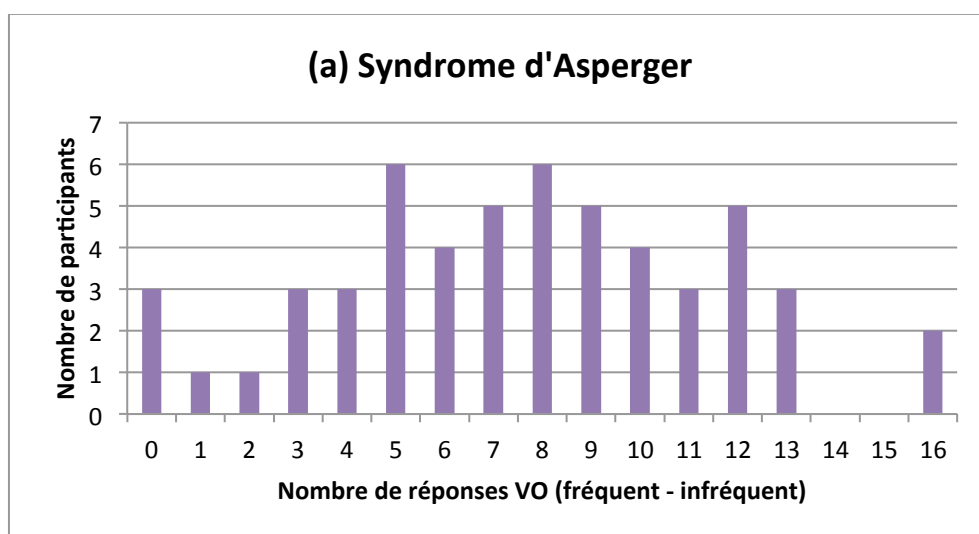
Figure 6-6 : Pourcentage de groupements VO (fréquent-infréquent) et OV (infréquent-fréquent) chez l'ensemble des participants TSA, en fonction de leur type d'autisme (syndrome d'Asperger, autisme verbal, autisme non verbal), pour l'Expérience 4.

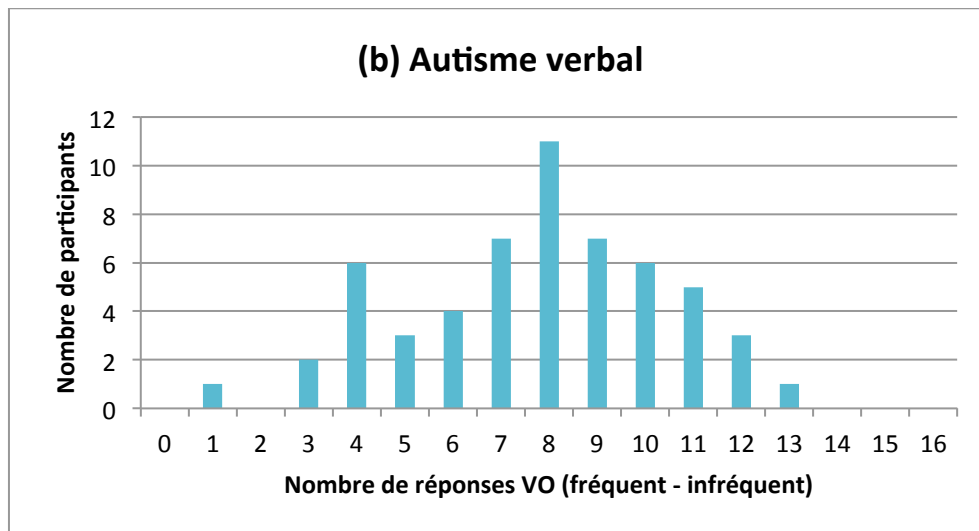


De manière à vérifier si les résultats précédents ne pourraient pas dissimuler une distribution bimodale, nous avons réalisé un test de normalité de Kolmogorov-Smirnov chez deux groupes de participants TSA : le groupe syndrome d'Asperger et le groupe autisme verbal (étant donné le nombre restreint de participants dans le groupe autisme non verbal (N= 4), nous n'avons pas jugé pertinent de réaliser ce test pour ce groupe). Les résultats révèlent une distribution normale des réponses VO pour le groupe de participants TSA syndrome d'Asperger ($D = .06$, $p = .20$) (Figure 6-7-a), mais pas pour le groupe de participants TSA autisme verbal ($D = .13$, $p = .03$) (Figure 6-7-b).

Par ailleurs, la loi binomiale pour une probabilité de $p = 50\%$ stipule que pour un total de 16 observations, un maximum de 4 ou un minimum de 12 réponses VO est significativement différent du hasard. Parmi les 56 participants TSA autisme verbal, 13 participants montrent une préférence nette : 9 ont choisi au plus 4 fois les syntagmes VO, 4 ont choisi au moins 12 fois les syntagmes VO, et 43 ont répondu de façon aléatoire (entre 5 et 11 réponses VO). La distribution des réponses des participants du groupe autisme verbal n'est donc ni normale, ni bimodale, mais plutôt uniforme.

Figure 6-7 : Distribution des réponses VO (fréquent – infrequent) observées pour les 16 items tests, pour chacun des deux sous-groupes (a) syndrome d'Asperger et (b) autisme verbal, pour l'Expérience 4.





6.4.2.2 Analyse des réponses selon l'âge

Afin d'évaluer la contribution éventuelle de l'âge des participants TSA sur la préférence dans le choix des syntagmes VO ou OV, nous avons réalisé un modèle de régression linéaire simple, le nombre limité de participants dans certains groupes d'âge ne permettant pas de réaliser une ANOVA avec comme facteur inter-sujets l'âge à 12 modalités comme chez les participants NT. Le résultat n'est pas significatif ($F(1, 112) = .50, p = .48$) : l'âge ne semble pas expliquer la variance du pourcentage de segmentation VO ou OV (Figure 6-8). De plus, les régressions réalisées pour les groupes syndrome d'Asperger et autisme verbal confirment ces résultats (pour le groupe syndrome d'Asperger : $F(1, 52) = .84, p = .37$; et pour le groupe autisme verbal : $F(1, 54) = .39, p = .54$).

Figure 6-8 : Pourcentage de réponses VO en fonction de l'âge, et droite de régression, pour l'ensemble des participants TSA de l'Expérience 4.

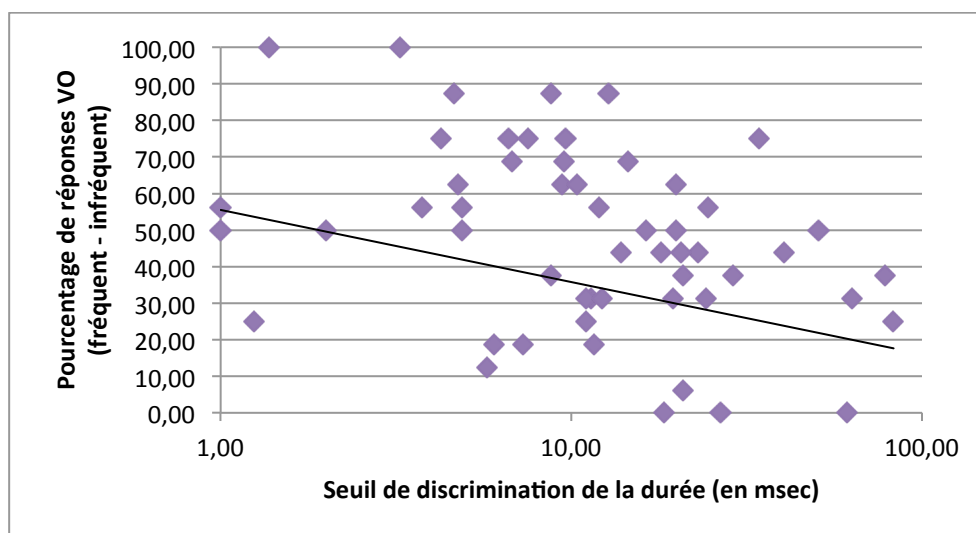


6.4.2.3 Analyse des réponses selon les seuils de discrimination auditive

En se basant sur l'hypothèse que les participants ayant les seuils les plus fins pourraient avoir une préférence plus marquée dans le groupement VO ou OV, nous avons réalisé des analyses de corrélations et de régressions pour déterminer si les seuils de discrimination de la durée, du pitch de basses fréquences, et du pitch de hautes fréquences, étaient liés à la segmentation de la langue artificielle, pour les groupes syndromes d'Asperger et autisme verbal.

Les résultats révèlent une corrélation significative, moyenne et négative, entre le pourcentage de réponses VO et le seuil de discrimination de la durée ($r = -.35$, $p = .01$) : meilleurs sont les seuils de discrimination pour la durée des participants TSA syndrome d'Asperger, plus ils vont choisir les groupements VO (Figure 6-9). La régression linéaire simple conduit alors à un modèle significatif ($F(1, 52) = 7.03$, $p = .01$) dans lequel le seuil de discrimination de la durée explique une part moyenne ($R^2 = 12\%$) de la variance du groupement VO chez les participants TSA du groupe syndrome d'Asperger. En revanche, aucune corrélation n'atteint la significativité pour le groupe autisme verbal ($p > .08$), suggérant que le pourcentage de segmentation VO ou OV n'est pas lié aux seuils de discrimination auditive dans ce groupe.

Figure 6-9 : Pourcentage de réponses VO, en fonction du seuil de discrimination obtenu pour la durée, pour l'ensemble des participants du groupe syndrome d'Asperger de l'Expérience 4.



⇒ RESULTATS DES PARTICIPANTS TSA : RESUME

En utilisant la même procédure que Bernard & Gervain (2012), nous avons exploré la manière dont les participants TSA segmentent la parole. Le but de cette tâche était de déterminer si les individus avec autisme étaient capables d'utiliser les indices prosodiques et fréquentiels pour déterminer l'ordre des mots d'une langue artificielle organisée de la même manière que le français.

Nos résultats révèlent que, quel que soit leur type d'autisme, les participants TSA francophones ne montrent aucune préférence pour les syntagmes structurés dans un ordre VO ou OV, et ce quel que soit leur âge. En revanche, il semblerait que le seuil de discrimination de la durée ait un lien avec le groupement VO pour le groupe TSA syndrome d'Asperger : pour ce groupe, une bonne discrimination de la durée semble favoriser le groupement VO des syntagmes de la langue artificielle.

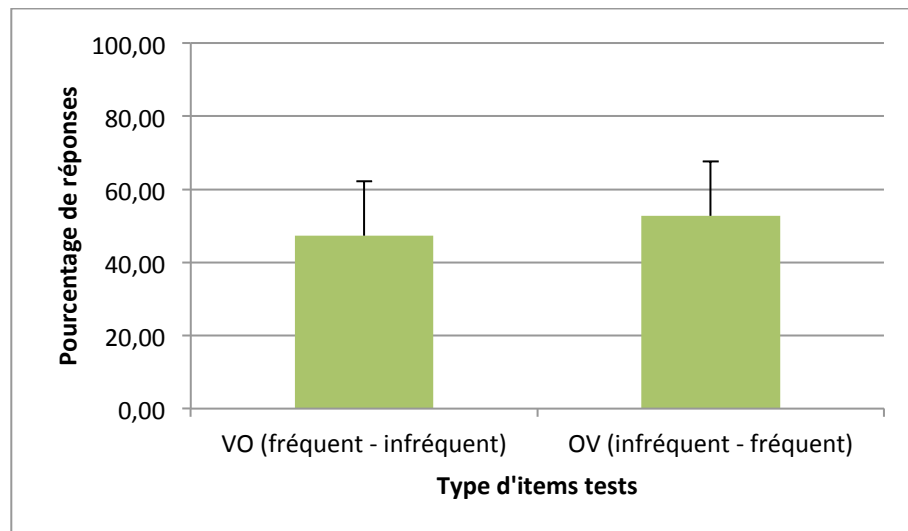
6.4.3 Participants SW

6.4.3.1 Analyse de la segmentation (analyse principale)

Afin de vérifier si les participants SW montrent une préférence dans le choix des syntagmes VO ou OV, nous avons réalisé des tests de Student sur le nombre de réponses VO par rapport au hasard. Aucun résultat n'atteint la significativité ($t(15) = -.73$, $p = .48$) ; les

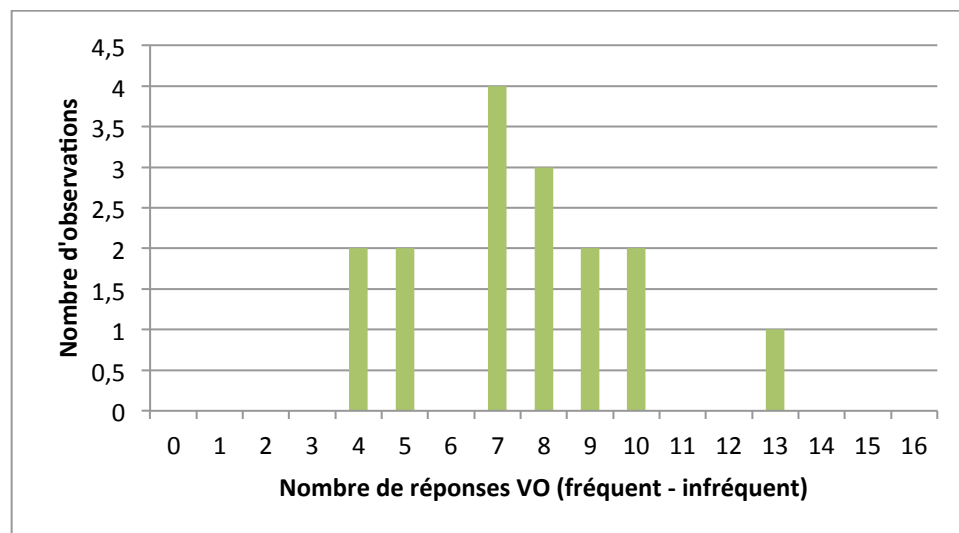
participants SW n'ont pas de préférence pour les syntagmes organisés de façon VO ($m_{VO}=47.27$, $s=14.96$), comparativement au hasard (Figure 6-10).

Figure 6-10 : Pourcentage de groupements VO (fréquent-infréquent) et OV (infréquent-fréquent) chez l'ensemble des participants SW de l'Expérience 4.



De manière à vérifier si les résultats précédents ne pourraient pas dissimuler une distribution bimodale, nous avons réalisé un test de normalité de Shapiro-Wilk chez l'ensemble des participants SW. Les résultats révèlent que la distribution suit une loi normale ($W= .95$, $p= .47$) (Figure 6-11). Toutefois, étant donné le nombre restreint de participants SW dans notre échantillon, ces résultats sont à interpréter avec précaution.

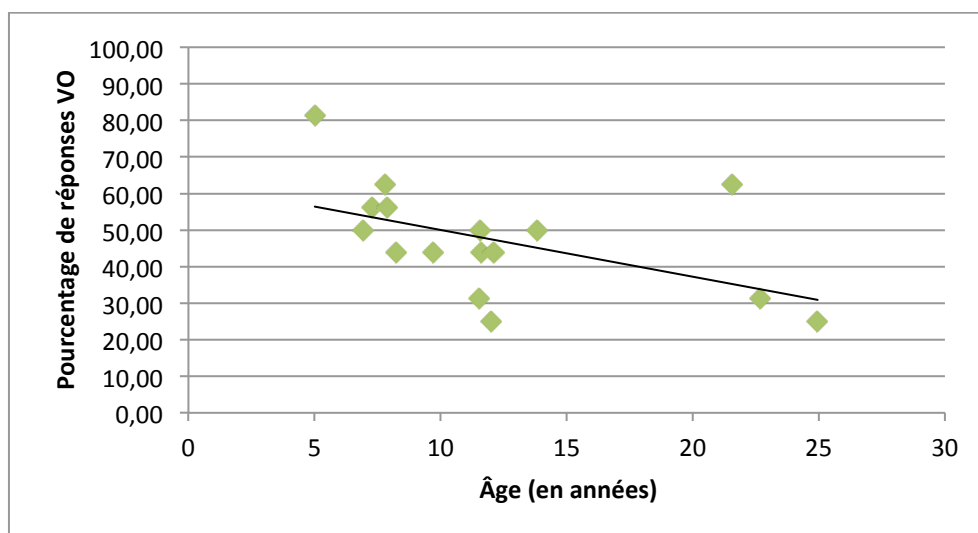
Figure 6-11 : Distribution des réponses VO (fréquent – infrequent) observées pour les 16 items tests, pour l'ensemble des participants SW de l'Expérience 4.



6.4.3.2 Analyse des réponses selon l'âge

Afin d'évaluer la contribution éventuelle de l'âge des participants SW sur la préférence dans le choix des syntagmes VO ou OV, nous avons réalisé un modèle de régression linéaire simple. Les résultats révèlent un effet significatif de l'âge : chez les participants SW, l'âge explique une part importante ($R^2 = 26\%$) et significative de la variance du pourcentage de segmentation VO ou OV ($F(1, 14) = 4.85$, $p = .045$) : plus les participants sont âgés, et moins ils vont segmenter le langage artificiel de façon VO ($r = -.51$). Toutefois, comme la Figure 6-12 le montre, l'effet semble être porté par deux des trois participants adultes. Il paraît donc nécessaire d'agrandir le groupe afin de vérifier cet effet de l'âge.

Figure 6-12 : Pourcentage de réponses VO en fonction de l'âge, pour l'ensemble des participants SW de l'Expérience 4.

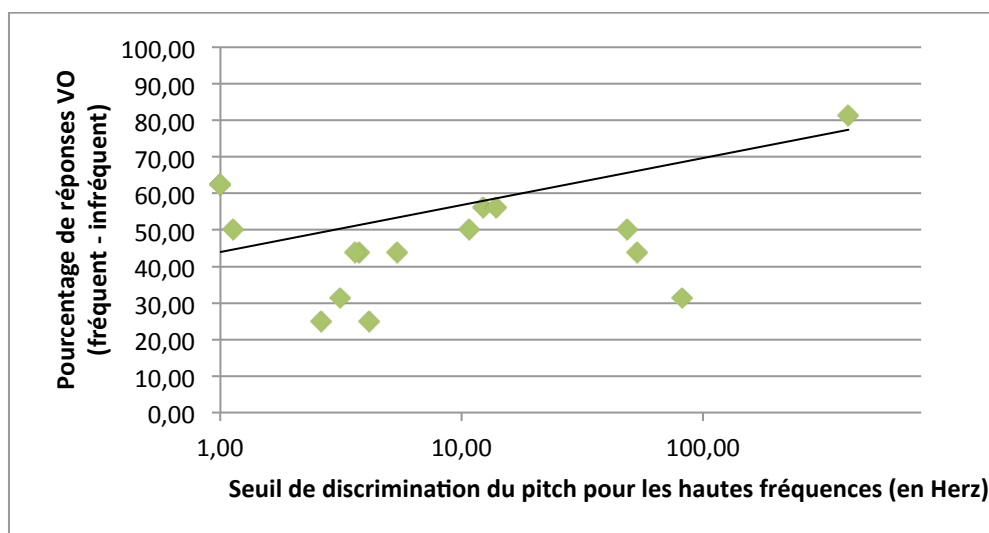


6.4.3.3 Analyse des réponses selon les seuils de discrimination auditive

En se basant sur l'hypothèse que les participants ayant les seuils les plus fins pourraient avoir une préférence plus marquée dans le groupement VO ou OV, nous avons réalisé des analyses de corrélations et de régressions pour déterminer si les seuils de discrimination de la durée, du pitch de basses fréquences, et du pitch de hautes fréquences, étaient liés à la segmentation de la langue artificielle, pour les participants SW.

Les résultats révèlent une corrélation significative, positive et forte, entre le pourcentage de réponses VO et le seuil de discrimination du pitch pour les hautes fréquences ($r = .55$, $p = .03$) : meilleurs sont les seuils de discrimination pour le pitch de hautes fréquences des participants SW, moins ils vont choisir les groupements VO. La régression linéaire simple conduit alors à un modèle significatif ($F(1, 14) = 6.20$, $p = .03$) dans lequel le seuil de discrimination du pitch de hautes fréquences explique une part importante ($R^2 = 31\%$) de la variance du groupement VO chez les participants SW. Toutefois, là encore, la Figure 6-13 révèle que l'effet semble être porté par un unique participant (ayant le moins bon seuil de discrimination pour les hautes fréquences). De ce fait, il est important de compléter notre groupe pour vérifier ces résultats.

Figure 6-13 : Pourcentage de réponses VO en fonction du seuil de discrimination du pitch pour les basses fréquences (en Herz), pour l'ensemble des participants SW de l'Expérience 4.



⇒ RESULTATS DES PARTICIPANTS SW : RESUME

En utilisant la même procédure que Bernard & Gervain (2012), nous avons exploré la manière dont les participants SW segmentent la parole. Le but de cette tâche était de déterminer si les individus SW étaient capables d'utiliser les indices prosodiques et fréquentiels pour déterminer l'ordre des mots d'une langue artificielle organisée de la même manière que le français.

Nos résultats révèlent que les participants SW francophones ne montrent aucune préférence pour les syntagmes structurés dans un ordre VO ou OV. Par ailleurs, il semblerait que le groupement VO chez les participants SW soit lié à leur âge ainsi qu'à leur seuil de discrimination du pitch de hautes fréquences : pour ce groupe, un âge adulte et une bonne discrimination du pitch semblent favoriser le groupement OV (contraire à la langue française) des syntagmes de la langue artificielle. Néanmoins nous devons agrandir notre échantillon pour pouvoir confirmer ou infirmer ces derniers résultats.

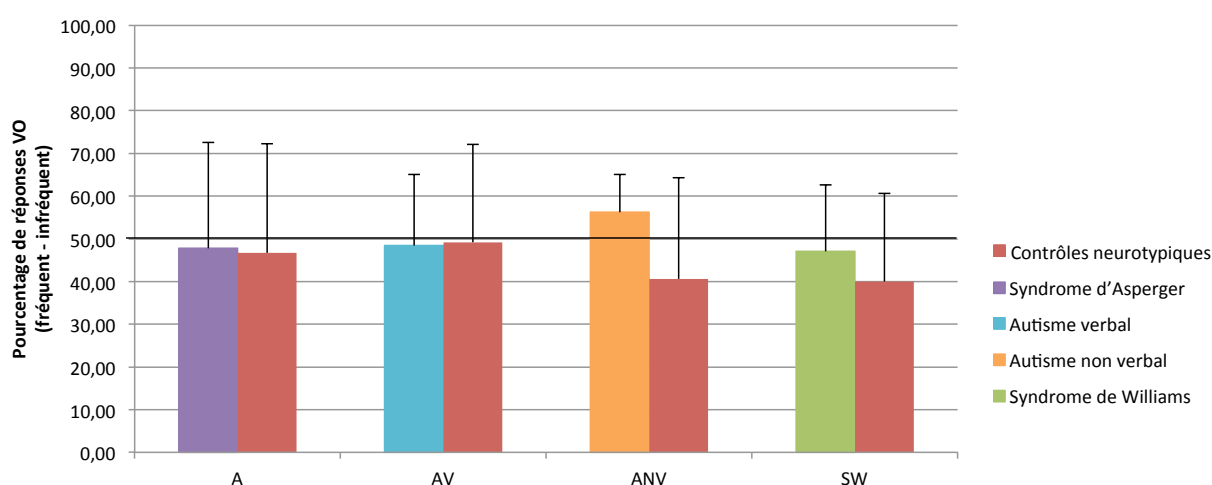
6.4.4 Comparaisons entre les groupes

Afin de vérifier si les participants ont des profils différents selon leur groupe d'appartenance, nous avons réalisé des ANOVAs univariées sur la variable dépendante pourcentage de réponses VO, avec comme facteur inter-sujets le type de participants à deux modalités (neurotypique et atypique), pour chacun des quatre groupes atypiques (syndrome

d'Asperger, autisme verbal, autisme non verbal, et syndrome de Williams) en les comparant à leur propre groupe de participants contrôles NT.

Aucun résultat n'atteint la significativité : les participants TSA, quel que soit leur type d'autisme, et les participants SW, ont un comportement similaire à leurs contrôles NT de même âge chronologique (Figure 6-14) : aucun ne semble avoir de préférence pour les syntagmes structurés dans un ordre VO (*fréquent – infrequent*), par rapport aux syntagmes structurés dans un ordre OV (*infrequent – fréquent*). Ainsi, la préférence OV observée lorsque l'on regarde l'ensemble du groupe de participants NT (voir Partie 6.4.1.1) disparaît lorsque l'on ne considère que les groupes restreints de participants contrôles.

Figure 6-14 : Pourcentage de réponses VO (fréquent-infréquent) pour les quatre groupes de participants atypiques (syndrome d'Asperger, autisme verbal, autisme non verbal, et syndrome de Williams), comparativement à leurs contrôles neurotypiques de même âge chronologique, pour l'Expérience 4.



6.5 Discussion intermédiaire

Dans cette quatrième expérience, nous avons exploré la perception de la prosodie à un niveau linguistique abstrait. Par cette étude, nous cherchions à déterminer si les individus aux développements typique et atypique sont capables d'utiliser les indices prosodiques et fréquentiels pour déterminer l'ordre des mots d'une langue artificielle possédant la même organisation syntagmatique que la langue française, et si leurs préférences sont stables au cours du développement. Cette étude est la première à s'intéresser au mécanisme de

bootstrapping prosodique et fréquentiel dans le trouble du spectre autistique et dans le syndrome de Williams

Nous avons utilisé une procédure très similaire à Bernard & Gervain (2012) : après avoir familiarisé les participants à une langue artificielle composée de mots fréquents prosodiquement non-proéminents et de mots non-fréquents prosodiquement proéminents, nous leur avons demandé d'identifier les phrases entendues dans le discours, en choisissant entre types de stimuli : des syntagmes structurés de façon VO (avec les mots fréquents en début de syntagme) et des syntagmes structurés de façon OV (avec les mots fréquents en fin de syntagme).

Les résultats de l'Expérience 4, synthétisés dans le Tableau 6-1, montrent qu'aucun groupe ne préfère les phrases structurées dans un ordre VO. Ainsi, seuls les participants neurotypiques montrent une préférence, mais inverse à nos prédictions : les individus tout-venants semblent reconnaître les syntagmes OV après avoir été familiarisés avec la langue artificielle, plutôt que les syntagmes VO. Il semblerait donc que l'association entre la prosodie des mots et de leur fréquence n'ait pas permis aux participants typiques d'en découler une règle syntaxique typique du français.

Par ailleurs, un pattern développemental est retrouvé chez les participants SW : dans ce groupe, il semblerait que les individus préfèrent davantage les groupements OV avec l'âge. Toutefois, étant donné le nombre restreint de participants dans ce groupe, il paraît nécessaire d'augmenter notre échantillon de façon à confirmer ou infirmer ces résultats.

Enfin, nos résultats mettent en évidence un effet des capacités de discrimination auditives sur le groupement OV/VO. Effectivement, nos données révèlent que de bonnes capacités de discrimination de la durée viennent augmenter la préférence VO chez les participants syndrome d'Asperger, alors que de bonnes capacités de discrimination du pitch de hautes fréquences viennent augmenter la préférence OV chez les participants syndrome de Williams. Pour ce qui est de la population SW, l'effet des seuils de discrimination du pitch de hautes fréquences étant porté majoritairement par un individu outlier, il est important de l'interpréter avec précaution. Nous discuterons des implications théoriques de ces résultats dans la Discussion générale.

Tableau 6-1 : Synthèse des résultats obtenus à l'Expérience 4, représentant la préférence pour les syntagmes VO ou OV, la variabilité liée à l'âge, ainsi que l'influence des capacités de discrimination, pour l'ensemble des participants (NT, TSA, et SW). (D = durée ; HF = hautes fréquences)

	Préférence	Pattern développemental	Influence de la discrimination
Neurotypiques	OV	X	X
Syndrome d'Asperger	X	X	✓ (D)
Autisme verbal	X	X	X
Autisme non verbal	(X)	(X)	(X)
Syndrome de Williams	X	✓	✓ (HF)

7. CHAPITRE 7 : VARIABILITE INTERINDIVIDUELLE, QUELS FACTEURS EXPLICATIFS ?

7.1 Introduction

Le cadre théorique de cette thèse est la théorie de l'initialisation (bootstrapping) prosodique, qui affirme que certaines propriétés prosodiques d'une langue, facilement disponibles dans le signal acoustique de la parole, aident aux nourrissons à apprendre des caractéristiques grammaticales – et donc plus abstraites – qui y sont corrélées. Un des objectifs de cette thèse est d'explorer et de tester cette hypothèse dans la population typique aussi bien que dans deux populations atypiques. Ces dernières n'ont jamais été étudiées dans cette perspective. Pourtant, elles peuvent constituer un terrain de test particulièrement pertinent, car les deux populations montrent un profil linguistique relativement opposé et il a été suggéré dans la littérature que leur perception auditive serait également atypique. Ces populations offrent donc une fenêtre sur le lien entre audition et traitement linguistique.

Nous avons donc testé les capacités auditives et linguistiques de nos trois populations dans 4 tâches expérimentales différentes, et nous avons également évalué d'autres facteurs qui peuvent avoir un impact sur le développement linguistique, comme par exemple le QI, le bilinguisme, l'expérience musicale, etc.

Dans ce dernier chapitre empirique, nous réalisons des analyses de régression afin de mettre en évidence des liens éventuels entre l'audition, le traitement prosodique et les autres facteurs. Notre but est d'identifier les facteurs qui expliquent le mieux les profils linguistiques observés chez nos participants typiques et atypiques. Les liens directs entre audition et traitement prosodique ont été explorés par des analyses de régression dans les chapitres 3 à 4. Dans ce chapitre, nous nous intéressons aux effets d'autres variables sur ces deux capacités. Ces analyses nous paraissent pertinentes pour plusieurs raisons. Premièrement, plusieurs facteurs ont été identifiés dans la littérature sur le développement typique comme jouant un rôle considérable dans l'acquisition du langage, comme p. ex. le multilinguisme et l'expérience musicale. Les effets de ces facteurs sur le développement langagier atypique sont moins connus. Deuxièmement, les deux populations atypiques que nous avons testées se caractérisent par une très grande hétérogénéité. En effet, il était un des objectifs explicites de la thèse d'inclure un échantillon aussi variable de participants TSA et SW que possible, notamment en terme d'âge et de niveau de fonctionnement. L'autisme en particulier se définit comme un spectre plutôt qu'un trouble développemental unique.

Pour mieux comprendre le développement linguistique dans ces pathologies, il est donc très important de tenir compte des facteurs de variabilité interindividuelle, car il est fort probable que les causes et la trajectoire développementale des troubles langagiers ne sont pas les mêmes chez tous les individus. Troisièmement, la comparaison de l'intensité des liens qui existent entre audition et langage, d'une part, et entre ces deux capacités et les autres facteurs, d'autre part, nous permet de mieux situer la théorie du bootstrapping dans l'ensemble du développement de l'individu. Si, par exemple, une variable explique un pourcentage plus important de la variabilité des performances dans la tâche de bootstrapping que les capacités auditives et/ou le groupement prosodique, cela suggère qu'il faut relativiser l'importance du mécanisme du bootstrapping. Si, au contraire, le lien entre audition, prosodie et bootstrapping s'avère plus fort que celui entre prosodie/bootstrapping et les autres facteurs, ce résultat confirme l'importance relative du mécanisme du bootstrapping.

7.2 Analyses

Pour ce faire, nous avons réalisé une régression linéaire multiple pas à pas. La régression pas à pas est une technique de construction de modèle qui permet de trouver le meilleur groupe (sous-ensemble) de variables prédictrices permettant de prévoir de la manière la plus adéquate les réponses d'une variable prédite, par régression linéaire (ou non linéaire), étant donnés des critères spécifiés pour l'adéquation de l'ajustement du modèle (Baayen, 2008). Elle permet d'affiner l'analyse de régression multiple en déterminant un sens dans l'analyse : soit on commence sans aucune variable prédictrice, et on rajoute un par un (donc pas à pas) les facteurs qui déterminent significativement la variable prédite (méthode ascendante), soit on commence par l'ensemble des variables prédictrices disponibles et on écarte les facteurs qui ne déterminent pas significativement la variable prédite (méthode descendante). Dans les analyses de régression de ce chapitre, nous avons choisi la méthode de la régression linéaire multiple pas à pas ascendante.

L'objectif était de mettre en évidence les variables qui expliquent le mieux les capacités auditives et prosodiques mesurées dans les Expériences 1 à 4. En effet, la régression permet de déterminer un lien entre deux variables, en reposant sur le postulat que la variable expliquée dépendra d'une ou plusieurs variable(s) prédictrice(s). Dans le cas de la régression linéaire multiple pas à pas, on va sélectionner à chaque étape le ou les

prédicteur(s) qui maximise(nt) le coefficient de régression R^2 de l'ensemble des variables sélectionnées au préalable. Une variable ne sera retenue que si elle explique une part significative de la variance de la variable prédite. Il est ainsi possible de trouver le modèle qui peut expliquer une variable prédite, en retenant le plus faible nombre de variables prédictrices.

Nous avons donc pu tester plusieurs modèles, et présentons ici ceux qui sont significatifs.

Nous avons considéré 12 variables supposées prédictrices, mesurées par notre questionnaire sur l'audition, les langues, et les capacités musicales, et par les échelles de Wechsler (WPPSI, WISC, et WAIS) :

- 1) Le nombre d'otites depuis la naissance (aucune, peu (≤ 3), beaucoup (> 3)) ;
- 2) L'hyperacousie (le niveau des sons auxquels l'hyperacousie est ressentie : pas de sensibilité à l'égard de sons particuliers, sons plus calmes que la voix lors d'une conversation, à peu près aussi calmes que la voix lors d'une conversation, plus forts qu'une conversation mais pas désagréables/douloureux à entendre, désagréables et douloureux à entendre) ;
- 3) La pratique d'une activité musicale (oui/non) ;
- 4) Le nombre d'années d'expérience musicale (moins de 1 an, entre 1 et 2 ans, entre 3 et 4 ans, 5 ans et plus) ;
- 5) L'oreille absolue (oui/non) ;
- 6) La langue maternelle (monolingue, plurilingue) ;
- 7) Les pathologies du langage dans la famille (oui/non) ;
- 8) L'âge (en mois) de production des premiers mots ;
- 9) L'âge (en mois) de production des premières phrases ;
- 10) Le quotient intellectuel total (QIT) ;
- 11) Le quotient intellectuel verbal (QIV) ;
- 12) Le quotient intellectuel non verbal (performance) (QIP).

Nous avons ensuite intégré l'ensemble de ces variables dans notre analyse, pour chacune des 13 variables expérimentales séparément, et pour chacun des trois groupes (NT, TSA, et SW) :

- 1) Le seuil de discrimination de la durée ;
- 2) Le seuil de discrimination du pitch pour les basses fréquences ;
- 3) Le seuil de discrimination du pitch pour les hautes fréquences ;
- 4) Le profil obtenu dans la tâche de discrimination de la durée (dans l'ordre « performant », « moins performant », « fluctuant », et « non conforme ») ;
- 5) Le profil obtenu dans la tâche de discrimination du pitch pour les basses fréquences ;
- 6) Le profil obtenu dans la tâche de discrimination du pitch pour les hautes fréquences ;
- 7) Le pourcentage de groupements iambiques de tons purs variant en durée ;
- 8) Le pourcentage groupements trochaïques de tons purs variant en intensité ;
- 9) Le pourcentage groupements trochaïques de tons purs variant en pitch ;
- 10) Le pourcentage de groupements iambiques de pseudo-mots variant en durée ;
- 11) Le pourcentage groupements trochaïques de pseudo-mots variant en intensité ;
- 12) Le pourcentage groupements trochaïques de pseudo-mots variant en pitch ;
- 13) Le pourcentage de préférence pour les syntagmes VO.

7.3 Résultats

7.3.1 Participants NT

Aucun modèle n'atteint la significativité pour les Expériences 1 à 3 : les seuils de discrimination auditive et la sensibilité à l'ITL ne semblent pas être expliqués par les variables relatives au questionnaire et au fonctionnement cognitif.

En revanche, la régression linéaire pas à pas retient la variable prédictrice âge de production précoce des premières phrases expliquant 10% de la variance du pourcentage de réponses VO (Expérience 4) ($F(1, 40) = 4.21, p = .05$). Les coefficients de ces modèles sont indiqués dans le Tableau 7-1. Ainsi, l'âge de production précoce des premières phrases semble expliquer le pourcentage de groupements VO de syntagmes issus d'une grammaire artificielle : plus les participants NT parlent tôt, plus ils vont choisir les syntagmes structurés dans un ordre VO (*fréquent – infrequent*).

Tableau 7-1 : Résultats de l'analyse de régression pas à pas pour la tâche du bootstrapping (Expérience 4), pour l'ensemble des participants NT.

	Bootstrapping		
	β	t	p
Constante		5.99	.0001
Âge des premières phrases	-.31	-2.05	.045

7.3.2 Participants TSA

7.3.2.1 Expérience 1 : étude des seuils de discrimination auditive

La régression linéaire pas à pas retient 2 variables prédictrices expliquant 15% de la variance des seuils de discrimination de la durée ($F(2, 104) = 9.45, p < .0001$), 2 variables prédictrices expliquant 15% de la variance des seuils de discrimination du pitch pour les basses fréquences ($F(2, 104) = 9.23, p < .0001$), et 1 variable prédictrice expliquant 9% de la variance des seuils de discrimination du pitch pour les hautes fréquences ($F(1, 105) = 10.70, p = .001$). Les coefficients de ces modèles sont indiqués dans le Tableau 7-2. Ainsi, le bilinguisme semble expliquer les moins bons seuils de discrimination de la durée, alors que les bonnes capacités cognitives générales semblent favoriser les bons seuils de discrimination de la durée. Par ailleurs, les bonnes capacités cognitives générales et le fait d'avoir ou d'avoir eu une expérience musicale semblent favoriser les bons seuils de discrimination du pitch de basses fréquences. Enfin, un haut QI non verbal semble favoriser les bons seuils de discrimination du pitch de hautes fréquences.

Tableau 7-2 : Résultats de l'analyse de régression pas à pas pour les tâches de discrimination auditive (Expérience 1), pour l'ensemble des participants TSA.

	Discrimination								
	Durée			Basses fréquences			Hautes fréquences		
	β	t	p	β	t	p	β	t	p
<i>Constante</i>		1.41	.160		4.76	.0001		4.55	.0001
QIT	-.27	-2.89	.005	-.28	-3.00	.003			
Langue maternelle	.33	2.51	.014						
Expérience musicale				-.20	-2.16	.033			
QIP							-.30	-3.27	.001

Par ailleurs, la régression linéaire pas à pas retient 1 variable prédictrice expliquant 8% de la variance des profils lors de la discrimination de la durée ($F(1, 105) = 9.53, p = .003$), 2 variables prédictrices expliquant 25% de la variance des profils lors de la discrimination du pitch de basses fréquences ($F(2, 104) = 17.29, p < .0001$), et 2 variables prédictrices expliquant 16% de la variance des profils lors de la discrimination du pitch de hautes fréquences ($F(2, 104) = 10.10, p < .0001$). Les coefficients de ces modèles sont indiqués dans le Tableau 7-3. Ainsi, un bon fonctionnement cognitif global semble expliquer la plus grande fréquence des comportements typiques (« performant » et « moins performant ») lors de la tâche de discrimination de la durée. Par ailleurs, le bon fonctionnement cognitif global ainsi que l'expérience musicale semblent favoriser les comportements typiques lors de la tâche de discrimination du pitch de basses fréquences. Enfin, le haut QI non verbal et l'expérience musicale semblent favoriser les comportements typiques lors de la tâche de discrimination du pitch de hautes fréquences.

Tableau 7-3 : Résultats de l'analyse de régression pas à pas pour les profils durant les tâches de discrimination auditive (Expérience 1), pour l'ensemble des participants TSA.

	Discrimination								
	Durée (profil)			Basses fréquences (profil)			Hautes fréquences (profil)		
	β	t	p	β	t	p	β	t	p
Constante		10.74	.0001		10.27	.0001		8.70	.0001
QIT	-.29	-3.09	.003	-.38	-4.24	.0001			
Expérience musicale				-.25	-2.82	.006	-.20	-2.21	.029
QIP							-.31	-3.40	.0001

7.3.2.2 Expérience 2 : étude de la sensibilité à l'ITL avec des tons purs

La régression linéaire pas à pas retient 1 variable prédictrice expliquant 15% de la variance du pourcentage de groupements trochaïques de tons purs variant en intensité ($F(1, 47) = 8.34, p = .006$). Les coefficients de ce modèle sont indiqués dans le Tableau 7-4. Ainsi, un âge de production des premiers mots tardifs semble favoriser le pourcentage de groupements trochaïques de tons purs variant en intensité.

Tableau 7-4 : Résultats de l'analyse de régression pas à pas pour les tâches de groupement de tons purs (Expérience 2), pour l'ensemble des participants TSA.

	ITL tons purs								
	Durée			Intensité			Pitch		
	β	t	p	β	t	p	β	t	p
Constante					4.76	.0001			
Âge des premiers mots				.39	-2.89	.006			

7.3.2.3 Expérience 3 : étude de la sensibilité à l'ITL avec des pseudo-mots

La régression linéaire pas à pas retient 1 variable prédictrice expliquant 6% de la variance du pourcentage de groupements iambiques de syllabes variant en durée ($F(1, 105) = 6.31$, $p = .01$), et 2 variables prédictrices expliquant 11% de la variance du pourcentage de groupements trochaïques de syllabes variant en pitch ($F(2, 104) = 6.35$, $p = .003$). Les coefficients de ces modèles sont indiqués dans le Tableau 7-5. Ainsi, un bon fonctionnement cognitif global semble expliquer le pourcentage de groupements iambiques de syllabes variant en durée. De plus, un bon fonctionnement cognitif global ainsi que peu d'années d'expérience musicale semblent expliquer le pourcentage de groupements trochaïques de tons purs variant en pitch.

Tableau 7-5 : Résultats de l'analyse de régression pas à pas pour les tâches de groupement de syllabes (Expérience 3), pour l'ensemble des participants TSA.

	ITL pseudo-mots								
	Durée			Intensité			Pitch		
	β	t	p	β	t	p	β	t	p
Constante		25.50	.0001					11.91	.0001
QIV	.24	2.51	.014				.29	3.02	.003
Années d'expérience musicale							-.26	-2.67	.009

7.3.2.4 Expérience 4 : étude du mécanisme de bootstrapping prosodique

La régression linéaire pas à pas retient 1 variable prédictrice expliquant 6% de la variance du pourcentage de réponses VO ($F(1, 102) = 6.72$, $p = .01$). Les coefficients de ces modèles sont indiqués dans le Tableau 7-6. Ainsi, un nombre important d'otites semble expliquer le pourcentage de groupements OV (contraires à nos prédictions) de syntagmes issus d'une langue artificielle.

Tableau 7-6 : Résultats de l'analyse de régression pas à pas pour la tâche du bootstrapping (Expérience 4), pour l'ensemble des participants TSA.

	Bootstrapping		
	β	t	p
Constante		11.20	.0001
Otites	-.25	-2.60	.011

7.3.3 Participants SW

7.3.3.1 Expérience 1 : étude des seuils de discrimination auditive

La régression linéaire pas à pas retient 3 variables prédictrices expliquant 66% de la variance des profils lors de la discrimination du pitch de basses fréquences ($F(3, 12) = 7.78$, $p = .004$), et 1 variable prédictrice expliquant 28% de la variance des profils lors de la discrimination du pitch de hautes fréquences ($F(1, 14) = 5.34$, $p = .04$). Les coefficients de ces modèles sont indiqués dans le Tableau 7-7. Ainsi, un QI verbal élevé semble expliquer la fréquence élevée de comportements atypiques (« fluctuant » et « non conforme ») lors de la tâche de discrimination du pitch de basses fréquences alors qu'un QI non verbal élevé et des années d'expériences musicales semblent expliquer les comportements typiques (« performant » et « moins performant »). Par ailleurs, l'hyperacousie (lorsqu'elle se manifeste par une réaction aux sons plus forts que la voix lors d'une conversation) semble favoriser les comportements atypiques lors de la tâche de discrimination du pitch de hautes fréquences.

Tableau 7-7 : Résultats de l'analyse de régression pas à pas pour les profils durant les tâches de discrimination auditive (Expérience 1), pour l'ensemble des participants SW.

	Discrimination								
	Durée (profil)			Basses fréquences (profil)			Hautes fréquences (profil)		
	β	t	p	β	t	p	β	t	p
Constante					1.54	.151		-.83	.423
QIV				.63	3.64	.003			
QIP				-.42	-2.40	.034			
Années d'expérience musicale				-.48	-2.82	.015			
Hyperacousie							.53	2.31	.037

7.3.3.2 Expérience 3 : étude de la sensibilité à l'ITL avec des pseudo-mots

La régression linéaire pas à pas retient 1 variable prédictrice expliquant 29% de la variance du pourcentage de groupements iambiques de syllabes variant en durée ($F(1, 14) = 5.74$, $p = .03$), et 1 variable prédictrice expliquant 28% de la variance du pourcentage de groupements trochaïques de syllabes variant en intensité ($F(1, 14) = 5.50$, $p = .03$). Les coefficients de ces modèles sont indiqués dans le Tableau 7-8. Ainsi, l'oreille absolue semble expliquer le pourcentage de groupements trochaïques (contraire à ce que prédit l'ITL) de syllabes variant en durée. De plus, haut QI non verbal semble favoriser le pourcentage de groupements iambiques (inverse de ce que prédit l'ITL) de tons purs variant en intensité.

Tableau 7-8 : Résultats de l'analyse de régression pas à pas pour les tâches de groupement de syllabes (Expérience 3), pour l'ensemble des participants SW.

	ITL pseudo-mots								
	Durée			Intensité			Pitch		
	β	t	p	β	t	p	β	t	p
Constante		72.48	.0001		6.51	.0001			
Oreille absolue	-.54	-2.40	.031						
QIP				-.53	-2.35	.034			

7.4 Discussion intermédiaire

Les résultats des analyses de régression révèlent des différences très claires entre les participants typiques et les deux groupes de participants atypiques.

En effet, pour le groupe de participants NT, il n'y a quasiment pas d'effet des facteurs mesurés par le questionnaire et l'évaluation cognitive. Seul un facteur langagier (l'âge de production des premières phrases) ressort pour la tâche de bootstrapping : dans le développement typique, la variabilité interindividuelle impacte moins les capacités de discrimination auditive, de sensibilité à l'ITL ou de bootstrapping prosodique mesurées ici, suggérant une certaine autonomie du développement langagier par rapport aux facteurs tels que le plurilinguisme, la musique, l'hyperacousie, ou encore les otites. Toutefois, nous pouvons noter une certaine limite à ces résultats. En effet, les participants NT que nous avons rencontrés constituent un groupe plus homogène que les groupes TSA et SW, car ils ont été recrutés dans deux régions géographiques précises (Paris et La Rochelle), tandis que les participants TSA et SW ont été recrutés un peu partout en France. De plus, beaucoup de données sont manquantes car les mesures cognitives n'ont pas été effectuées chez les enfants recrutés dans les écoles, tout comme une grande partie des questionnaires.

Concernant les deux groupes de participants atypiques, les facteurs les plus importants semblent être les différents types de QI (QIT, QIP, QIV) et l'expérience musicale. Pour ce qui est des QI, les résultats des analyses de régression suggèrent un effet de la tâche : il est très probable que les participants ayant les meilleurs QI comprennent mieux et réussissent mieux les tâches. Ceci ne serait donc pas un réel avantage dans l'audition ou le traitement linguistique, mais plutôt un avantage dans les capacités à suivre les consignes et à résoudre les tâches. Quant à l'expérience musicale (qui, nous l'avons vérifié *a posteriori*, n'est pas corrélée aux QI pour les participants NT et SW, mais l'est pour les participants TSA (ce sont en général les plus hauts niveaux qui font de la musique), il semblerait qu'elle puisse améliorer la perception auditive et prosodique. Son effet pourrait ne pas être visible dans notre échantillon NT car les tâches expérimentales sont peut-être trop simples pour y être sensibles, et surtout parce que les participants n'ont pas été sélectionnés de façon à faire varier le niveau d'expertise musicale. En revanche, chez les participants atypiques, pour lesquels il y a plus de variabilité, l'effet ressortirait davantage.

8. CHAPITRE 8 : DISCUSSION GENERALE

Les indices acoustiques de la prosodie – que sont les variations de durée, d'intensité, et de pitch dans le signal de la parole – apportent des informations particulièrement importantes pour l'apprentissage du langage chez le bébé, et plus précisément dans l'acquisition du lexique et des règles grammaticales de sa langue maternelle. Le nourrisson utilise ces indices via les mécanismes de *bootstrapping* pour extraire, par exemple, des règles syntaxiques, organisationnelles, d'ordre des mots, de la langue avec laquelle il grandit, en exploitant les corrélations qui existent entre les indices prosodiques et les caractéristiques morphosyntaxiques de sa langue. Cette thèse s'est intéressée, en premier lieu, au rôle que joue la perception auditive, notamment la perception du pitch, de l'intensité et de la durée, dans le développement langagier typique.

Mais le langage ne se développe pas toujours de manière typique. Les individus ayant des troubles du spectre autistique affichent souvent un retard voire une absence de parole intelligible. Au contraire, les personnes avec le syndrome de Williams-Beuren présentent une production linguistique relativement préservée au niveau de la grammaire, mais montrent des anomalies sémantiques (un vocabulaire ou une des expressions atypiques, etc.). Le deuxième objectif de cette thèse était donc d'explorer la perception et l'amorçage prosodiques de l'acquisition du langage dans le développement atypique à travers l'autisme et le syndrome de Williams, deux troubles développementaux présentant des profils linguistiques relativement opposés, et ceci sur une gamme très large de niveaux de fonctionnement et d'âges. Notre hypothèse concernant le développement atypique du langage était la suivante : il y aurait une variabilité plus importante dans les capacités perceptives de bas niveau chez les deux populations atypiques comparativement au développement typique. Ainsi, les représentations qui devraient servir d'input pour l'acquisition du langage seraient trop détaillées ou au contraire pas assez détaillées dans ces populations atypiques qu'elles ne devraient l'être. Par conséquent, sans l'input approprié, l'acquisition du langage serait perturbée. Autrement dit, ces deux populations atypiques nous ont permis de mieux comprendre dans quelle mesure la perception auditive atypique impacte l'acquisition du langage, et inversement, à quel point le développement langagier atypique est dû à une perception auditive atypique.

Pour tester cette hypothèse, nous avons créé quatre expériences : quatre tâches comportementales explorant la perception de la prosodie à différents niveaux de traitement, du plus acoustique au plus abstrait et linguistique.

Dans l'Expérience 1, nous nous sommes intéressés aux seuils de discrimination auditive de deux indices prosodiques du langage : la durée et le pitch (l'intensité n'a pas été étudiée car les conditions expérimentales ne permettaient pas d'en tester des seuils de façon fiable). En utilisant une procédure adaptative classique en psychoacoustique, nous avons mesuré les variations de tons purs que pouvaient discriminer des enfants, des adolescents, et des adultes neurotypiques, avec autisme, et avec le syndrome de Williams.

Dans l'Expérience 2, nous nous sommes intéressés au groupement prosodique (loi iambo-trochaïque) dans le cas d'un matériel auditif non linguistique. Nous avons présenté des séquences de tons purs alternant soit en durée, soit en intensité, soit en pitch, et nous avons demandé aux participants de grouper les sons par paires, soit de façon iambique (accentuation finale), soit de façon trochaïque (accentuation initiale), selon la manière dont ils les percevaient.

Dans l'Expérience 3, nous avons répliqué l'étude précédente avec un matériel linguistique. Nous avons présenté des séquences de syllabes alternant soit en durée, soit en intensité, soit en pitch, et nous avons demandé aux participants d'identifier les pseudo-mots qu'ils percevaient. Ainsi, ils pouvaient choisir de placer la syllabe accentuée en premier dans la paire (groupement trochaïque), ou en deuxième (groupement iambique).

Enfin, dans l'Expérience 4, nous nous sommes intéressés au mécanisme de bootstrapping de l'ordre des mots. Nous avons familiarisé les participants à une langue artificielle, contenant des indices prosodiques et des indices fréquentiels de manière à déterminer s'ils étaient capables d'utiliser ces deux indices pour déterminer l'ordre des mots de ce flux de parole continu.

Pour répondre à nos questions théoriques concernant les liens entre perception auditive de bas niveau et développement linguistique, nous avons réalisé, outre les analyses propres à chaque expérience, des analyses de régression nous permettant de quantifier la part de variabilité du développement linguistique expliquée par la performance auditive de bas niveau. Dans ces analyses, nous avons également pris en compte d'autres facteurs susceptibles de contribuer au développement linguistique, comme par exemple le QI, l'âge, le bilinguisme, l'expérience musicale, etc.

8.1 Synthèse et discussion des résultats

8.1.1 Les seuils de discrimination auditive et les profils

comportementaux varient en fonction de l'âge et du type

Dans l'Expérience 1, nous avons mis en évidence quatre **profils**, selon le comportement des participants adopté durant la tâche : les profils « performant » et « moins performant », qui réalisent correctement la tâche, mais se distinguent entre eux par le fait que le dernier type obtient un seuil moins bon que le premier, le profil « fluctuant », qui réalise partiellement la tâche, mais perd le fil au cours de la passation, et le profil « non conforme », qui ne comprend pas du tout la tâche. Nous avons pu constater des changements quant aux comportements adoptés au cours du développement pour les participants typiques. En effet, quelle que soit la condition (durée, pitch de basses fréquences, ou pitch de hautes fréquences), les enfants de 3 ans ne présentent jamais le comportement attendu (« performant ») : la plupart du temps (dans 75% à 100% des cas), ils ont d'importantes fluctuations attentionnelles ou ne comprennent pas ce que l'on attend d'eux, bien que la phase d'entraînement soit correctement réussie. Mais dès l'âge de 4 ans, on voit apparaître des profils « performants », établissant ainsi que la tâche est tout à fait accessible pour des enfants de cet âge, au moins dans la condition du pitch. Effectivement, il faut attendre l'âge de 8 ans pour voir apparaître des profils « performants » dans la condition de la durée. Puis, à partir de 11 ans, on observe de plus en plus de profils attendus, et ce dans les trois conditions.

De plus, nous avons observé que les valeurs des **seuils** diminuent avec le l'âge dans le développement typique. Toutefois, le niveau adulte n'est pas atteint au même âge pour chacun des deux indices testés : en ce qui concerne le pitch, les résultats ont révélé qu'il n'y avait pas de différence significative entre les seuils des participants à partir de 4 ans pour les basses fréquences, et à partir de 6 ans pour les hautes fréquences ; pour la durée, il n'y a plus de différence significative à partir de 8 ans. Toutes ces données corroborent les résultats de Jensen & Neff (1993) : la maturation des capacités de discrimination suivraient un pattern développemental dans lequel la discrimination optimale du pitch serait atteinte plus précocement que celle de la durée.

Même si statistiquement non-significative, la représentation graphique des données montre une courbe descendante au-delà des âges mentionnés ci-dessus, notamment entre 3 ans (139 msec pour la durée, 99 Hz pour les basses fréquences, et 389 Hz pour les hautes fréquences) et 11 ans, où un plateau est atteint (10 msec pour la durée, 3 Hz pour les basses fréquences, et 10 Hz pour les hautes fréquences), et ce pour les trois conditions, suggérant une amélioration des capacités de discrimination jusqu'à cet âge. De plus, notre étude montre également l'évolution de la variabilité interindividuelle : à partir de 11 ans, les différences interindividuelles sont moindres, comparativement aux groupes d'âges plus jeunes, c'est d'ailleurs ce que laisse présumer la répartition des profils comportementaux avec l'âge, avec une diminution (voire une disparition dans le cas du pitch de basses fréquences) nette des profils non attendus (« fluctuant » et « non conforme »), et une augmentation considérable du profil idéal (« performant ») dès l'âge de 11 ans. Ainsi, ce travail de thèse corrobore et complète les études antérieures, désignant le début de l'adolescence comme l'âge charnière pour le développement de la discrimination auditive (Banai & Yuval-Weiss, 2013; Hartley et al., 2000; Maxon & Hochberg, 1982; Moore et al., 2011) : la discrimination de la durée et du pitch se développe tout au long de la période préscolaire et scolaire, et atteint son niveau maximal à l'entrée au collège.

Les quatre types de profils sont également retrouvés dans nos deux populations atypiques. De plus, les trois sous-groupes de participants TSA ne se comportent pas de la même façon : les participants du groupe syndrome d'Asperger ont davantage de profils attendus (« performant » et « moins performant ») que de profils non attendus (« fluctuant » et « non conforme »), alors que c'est l'inverse pour les participants du groupe autisme non verbal. Les participants du groupe autisme verbal se répartissent uniformément parmi les quatre profils observables. Ces données suggèrent que la tâche de discrimination est particulièrement compliquée pour les participants non verbaux. « La tâche des dinos » n'est donc pas adaptée à cette population. Effectivement, pour certains participants, la tâche d'entraînement s'est avérée insuffisante, et il a fallu développer des stratégies d'apprentissage particulières. Par exemple, lors d'une passation à domicile avec un enfant, nous avons utilisé un piano à disposition pour travailler le concept identique/différent dans la sphère auditive. Ou encore, lors d'une passation dans une structure avec un adulte, nous avons dû travailler la discrimination visuelle d'abord, en utilisant des objets de son

environnement, puis transférer l'apprentissage au domaine auditif. De ce fait, pour certains participants non verbaux, la phase d'apprentissage s'est avérée particulièrement longue, et il est possible que le grand nombre de profils non attendus observés dans ce groupe soit dû à une fatigue plus importante, présente dès le début de la tâche.

De façon très importante, deux autres aspects qui différencient les trois groupes de participants TSA sont la valeur de leurs seuils de discrimination et l'évolution des seuils en fonction de l'âge. En effet, alors que nous retrouvons un pattern développemental chez les participants typiques, ce n'est pas le cas pour l'ensemble des participants TSA : dans ce groupe, seules les personnes du groupe autisme verbal montrent une amélioration des seuils avec l'âge, et seulement pour la durée et le pitch de hautes fréquences. Ainsi, les seuils des participants du groupe syndrome d'Asperger (35 msec pour la durée, 10 Hz pour les basses fréquences, 20 Hz pour les hautes fréquences) sont meilleurs que ceux des deux autres sous-groupes, pour les trois conditions, et ne semblent pas s'améliorer au cours du développement : les enfants ont des seuils comparables aux adolescents et aux adultes, et ceux qui ont les meilleurs seuils de discrimination de la durée sont également ceux qui ont les meilleurs seuils de discrimination du pitch. Toutefois, si l'on compare ces valeurs (35 msec, 10 Hz et 20Hz) aux représentations graphiques obtenues pour les plus jeunes participants NT dans le Chapitre 3, il semblerait que les seuils moyens mesurés pour le groupe syndrome d'Asperger correspondent aux seuils obtenus aux alentours de 8-9 ans pour la durée chez les typiques, 9-10 ans pour les basses fréquences, et 10-11 ans pour les hautes fréquences, soit à des seuils déjà proches des seuils adultes, suggérant que les enfants Asperger ont des seuils plutôt bas qui ne change pas vraiment avec l'âge. Ainsi, il y aurait quand même un pattern développemental dans le sens où les seuils adultes seraient atteints avant l'âge de 10 ans (donc plus tôt que dans le développement typique), et ne s'affineraient pas davantage avec l'âge comme pour les typiques. Pour mieux répondre à cette question et mieux comprendre l'absence de changement développemental, il serait pertinent de comparer les seuils moyens des participants Asperger de moins de 11 ans, aux seuils moyens de leurs propres contrôles NT. Ainsi, nous pourrions peut-être mettre en évidence un avantage des jeunes Asperger (entre 3 et 9 ans) sur leurs contrôles, qui disparaîtrait avec l'âge. Néanmoins, si ces changements développementaux existent bel et bien, ils sont peut-être faibles étant donné que les enfants de moins de 10 ans représentent quand même 15% de notre échantillon. Par ailleurs, les participants des groupes autisme

verbal et autisme non verbal se distinguent entre eux significativement par leur seuil pour le pitch de basses fréquences : dans cette condition, le groupe autisme verbal obtient de meilleurs seuils (55 Hz) que le groupe autisme non verbal (160 Hz) ; pour les deux autres conditions, on observe des tendances non significatives (115 Hz *versus* 150 Hz pour la durée, et 80 Hz *versus* 110 Hz pour les hautes fréquences). De plus, dans ces deux dernières conditions, les participants du groupe autisme verbal améliorent leurs seuils au cours du développement, contrairement aux participants du groupe autisme non verbal. Notons tout de même que le nombre restreint de participants dans ce dernier groupe peut également expliquer l'absence de tels effets.

Par ailleurs, lorsque l'on compare les trois groupes de participants TSA à trois groupes de participants NT de même genre et de même âge chronologique, nous observons que le comportement (la répartition des types de profils) et les seuils de discrimination du groupe syndrome d'Asperger sont similaires à ceux de son groupe contrôle. Au contraire, les groupes autisme verbal et autisme non verbal se distinguent de leurs contrôles. Ainsi, les participants du groupe autisme verbal ont de moins bons seuils que leurs contrôles NT pour la durée et les basses fréquences, et les participants du groupe autisme non verbal ont de moins bons seuils que leurs contrôles NT pour les trois conditions. De plus, les deux groupes se comportent différemment de leurs contrôles pendant la tâche (davantage de profils attendus chez les contrôles que chez ces deux groupes TSA).

Nos résultats ne sont donc pas en faveur de meilleures capacités de discrimination auditive chez les personnes avec autisme, ni même chez un sous-groupe de participants TSA. Bien que les individus du groupe syndrome d'Asperger réussissent mieux que les deux autres groupes de participants TSA, ils n'en sont pas pour autant meilleurs que les individus NT. Ainsi, alors que O'Connor (2012) décrit une supériorité des personnes avec autisme dans la perception du pitch comme étant la conséquence possible d'une réduction de l'attention aux informations linguistiques durant le développement, notre étude qui ne met en évidence aucun avantage pour un groupe ou sous-groupe de participants autistes ne permet pas de confirmer cette hypothèse, et ne corrobore ainsi pas les résultats des études antérieures montrant que les personnes ayant un autisme autre que le syndrome d'Asperger discriminaient mieux les tons purs variant en pitch que les individus sans autisme (Bonnell et al., 2010; Heaton, Hermelin, & Pring, 1998; Heaton, Hudry, Ludlow, & Hill, 2008; Jones et al., 2009). En revanche, nous confirmons les résultats de Bonnell et al. (2010) indiquant que les

individus ayant le syndrome d'Asperger ont des seuils similaires à des participants NT de même âge chronologique. En somme, nos résultats ne sont pas en faveur de l'hypothèse du fonctionnement perceptif amélioré (Mottron & Burack, 2001; Mottron et al., 2006), car nos participants TSA ne montrent pas des performances supérieures dans nos tâches auditives de bas niveau perceptif.

La deuxième population atypique de notre étude était composée de participants ayant le syndrome de Williams. Nos résultats ont révélé que les individus SW se comportent comme leurs contrôles NT de même âge chronologique et obtiennent des seuils similaires. Ces résultats confirment donc les travaux antérieurs stipulant que les individus SW n'ont pas une sensibilité auditive plus fine en termes de seuils absolus (M. Cohen et al., 2005; Marler et al., 2005).

Parallèlement, nos résultats montrent un lien entre les trois seuils de discrimination mesurés : les participants qui ont les seuils les plus fins dans une condition, sont également ceux qui ont les seuils les plus fins dans les deux autres conditions. De plus, dans nos populations atypiques, les performances cognitives expliquent également les seuils de discrimination : les participants ayant les meilleurs QI (QIT, QIP, et QIV) ont également les meilleurs seuils et la plus grande proportion de meilleurs profils (« performant » et « moins performant »). Ces résultats suggèrent que, malgré nos efforts de réduire autant que possible le bruit dans les données dû aux fluctuations attentionnelles dans nos populations atypiques et chez les plus jeunes enfants typiques (par une nouvelle méthode de calcul), il n'est pas possible d'éliminer complètement les effets de la tâche et de l'attention. Par conséquent, les seuils que nous avons mesurés sous-estiment très probablement les vrais seuils dans les populations ayant une performance cognitive très basse. Une solution à ce problème serait de prendre en compte uniquement les participants dont le profil est « performant » ou « moins performant », car ce sont eux qui réalisent la tâche comme attendu. C'est une analyse que nous pourrions faire dans l'avenir. Si cette approche permet d'établir des seuils plus réalistes dans les sous-groupes où le nombre de profils performants et moins performants est suffisant, son désavantage est qu'il y aura des sous-groupes où aucun seuil ne pourra être calculé ou pour lesquels les seuils seront calculés sur la base d'un sous-ensemble non représentatif des participants dans un sous-groupe.

Enfin, on trouve que la musique est un facteur qui joue parfois également sur la perception auditive : les participants ayant ou ayant eu une expérience musicale (instrument ou voix) sont également ceux qui ont les seuils les plus fins. Le lien de causalité est évidemment difficile à établir : il se peut que l'expérience musicale contribue au raffinement des seuils de discrimination, mais il est également possible que ce soient les individus ayant une discrimination auditive déjà plus fine qui entreprennent des études en musique. Néanmoins, l'existence d'une corrélation entre expérience musicale et discrimination auditive dans nos populations typique et atypiques contribue au débat actuel sur les liens possibles entre perception musicale, audition, et perception linguistique (Patel, 2007 ; Abrams et al., 2011; Bhatara et al., 2010; Tirovolas & Levitin, 2011).

En somme, pour cette expérience, nous avons rencontré plus de 470 participants, dont près de 170 participants TSA, ce qui est peu courant dans la littérature. En effet, la majorité des études en psychoacoustique porte sur des échantillons de moins d'une centaine de participants, et certaines même portent sur moins d'une dizaine de sujets. Ainsi, nous fournissons une des bases de données les plus étendues qui existent sur les seuils de discrimination auditive des personnes NT et TSA. De plus, cette étude est également la première à s'intéresser aux capacités acoustiques des personnes avec autisme en examinant tout le spectre : des individus de bas niveau, verbaux ou non verbaux, à des individus de haut niveau. Par ailleurs, cette étude est également la première à s'intéresser à la discrimination auditive sur une tranche d'âge aussi large et à utiliser la même méthode pour tous les participants. Sur ce point, notre expérience montre que, bien qu'elle soit supposée être adaptée à des enfants dès l'âge de 3 ans (Saffran et al., 2006), la procédure utilisée pour les adultes est encore compliquée pour les enfants d'âge préscolaire : leur concentration n'est pas aussi stable que celle des enfants d'âge scolaire, des adolescents et des adultes, et la mesure des seuils qui en découle très souvent bruitée. De ce fait, les deux méthodes de calcul que nous avons développées permettent au moins en partie de palier aux effets attentionnels et de concentration de ces jeunes enfants et des participants atypiques, en proposant un calcul du seuil qui réduit plus (Méthode A) ou moins (Méthode B) le bruit observé pendant la procédure.

8.1.2 La loi iambo-trochaïque est sensible au type de stimuli

Dans les Expériences 2 et 3, nous nous sommes intéressés à l'ITL selon que les stimuli à grouper étaient non linguistiques (tons purs) ou linguistiques (syllabes). L'ensemble des résultats est synthétisé dans le Tableau 8-1.

Dans le développement typique, nos résultats ont montré un biais iambique pour la durée, quel que soit le matériel utilisé : les participants NT groupent préférentiellement les tons purs et les syllabes de façon iambique, lorsque ceux-ci alternent en durée. En revanche, nous avons mis en évidence un biais trochaïque pour l'intensité, uniquement dans la condition des pseudo-mots, et nous n'avons mis en évidence aucun biais pour le pitch. Cette asymétrie entre les indices peut être expliquée par la nature de la prosodie de la langue française. En effet, le français est une langue VO, où la proéminence est placée systématiquement en fin de syntagme (à droite) (Delattre, 1966; Jun & Fougeron, 2002), caractérisée par un allongement de la durée. A cette indice fort et constant vient s'ajouter un deuxième indice prosodique : le pitch. Toutefois, ce dernier est beaucoup moins stable car, bien qu'accompagnant l'allongement de la durée et placé également en fin de syntagme, il peut aussi bien être marqué par une augmentation que par une diminution du pitch de la syllabe finale (Féry, Hörnig, & Pahaut, 2011; Jun & Fougeron, 2002; Michelas & D'Imperio, 2010). La durée est donc l'indice acoustique le plus saillant dans la langue française, ce qui expliquerait ce biais iambique retrouvé à la fois pour les stimuli linguistiques et non linguistiques.

Tableau 8-1 : Synthèse des résultats obtenus aux Expériences 2 (tons purs) et 3 (pseudo-mots), pour l'ensemble des participants (NT et TSA), pour la perception de l'ITL dans chacune des trois conditions (durée, intensité, et pitch).

	TONS PURS (préférence observée)			PSEUDO-MOTS (préférence observée)		
	<i>Durée</i>	<i>Intensité</i>	<i>Pitch</i>	<i>Durée</i>	<i>Intensité</i>	<i>Pitch</i>
Neurotypiques	iambique	X	X	iambique	trochaïque	X
Syndrome d'Asperger	iambique	X	trochaïque	iambique	trochaïque	X
Autisme verbal	X	X	trochaïque	X	trochaïque	X
Autisme non verbal				X	trochaïque	X
Syndrome de Williams				X	trochaïque	X

En revanche, les résultats pour la perception de l'intensité sont plutôt surprenants. Effectivement, l'intensité n'est pas un indice particulièrement pertinent en français, les variations d'intensité en français étant très faibles comparativement à l'anglais, l'allemand, ou encore l'espagnol (Delattre, 1966). Toutefois, si variation il y a, elle est marquée par une légère diminution de l'intensité sur la dernière syllabe (accompagnant donc une augmentation de la durée de cette même syllabe), soit un pattern d'accentuation trochaïque (Delattre, 1966). Ainsi, l'intensité n'est pas un indice saillant dans la langue française, expliquant donc l'absence de préférence de groupement de tons purs, les francophones n'étant pas sensibles à cet indice prosodique. Alors pourquoi retrouvons-nous une préférence trochaïque pour les pseudo-mots variant en intensité ? Il se trouve que, dans cette condition, les ratios d'accentuation sont légèrement supérieurs à ceux utilisés dans les deux autres conditions. Peut-être que l'augmentation du contraste a favorisé la perception des variations dans cet indice peu présent en français, et donc le groupement trochaïque, prédit par l'ITL. De ce fait, les faibles variations existant dans la langue française aussi bien qu'un biais universel, comme proposé dans la loi iambo-trochaïque pourraient expliquer les résultats observés dans notre étude, c'est-à-dire les patterns trochaïques perçus lorsque des syllabes varient et alternent en intensité, et lorsque ces variations sont suffisamment perceptibles pour être traitées. De plus, nous observons un effet de l'âge, uniquement pour les pseudo-mots, et uniquement dans la condition de l'intensité. Ceci suggère que l'exposition à la langue française favoriserait la perception de cet indice acoustique peu

saillant. Ce serait donc l'expérience qui soutiendrait les groupements trochaïques de syllabes variant en intensité.

En effet, le débat concernant l'origine de l'ITL est toujours d'actualité : certains auteurs suggérant un biais universel (Bolton, 1894; Cooper & Meyer, 1960; Hay & Diehl, 2007; Hayes, 1995; Woodrow, 1951), et d'autres un aspect modulable par la langue maternelle (Iversen et al., 2008; Yoshida et al., 2010). Ainsi, dans une étude utilisant des stimuli non linguistiques (séquences d'ondes carrées) et linguistiques (séquences de répétitions de la syllabe /ga/), dans lesquels un son sur deux était accentué soit en durée, soit en intensité, Hay & Diehl (2007) n'ont mis en évidence aucune différence entre des locuteurs natifs anglophones et des locuteurs natifs francophones : quel que soit le type de stimuli, les deux groupes jugent les séquences variant en durée comme étant iambiques, et les séquences variant en intensité comme étant trochaïques, suggérant que la perception acoustique du groupement selon l'ITL ne serait pas spécifique à l'environnement linguistique, mais serait un biais auditif général. En revanche, certaines études ont mis en évidence des effets cross-linguistiques, à la fois pour des stimuli non linguistiques (Bhatara, Yeung, & Nazzi, 2015; Iversen et al., 2008) que pour des stimuli linguistiques (Bhatara et al., 2013). Ainsi, contrairement aux locuteurs anglais, les locuteurs japonais ne groupent pas préférentiellement les séquences variant en durée de façon iambique (ni trochaïque) (Iversen et al., 2008). De plus, lorsque l'on mélange les indices prosodiques de durée et de pitch, les locuteurs français ne groupent ni les séquences variant en durée de façon iambique, ni les séquences variant en pitch de façon trochaïque (Bhatara et al., 2013). De ce fait, le traitement du rythme déterminé par l'ITL ne serait pas un biais universel mais serait variable selon l'expérience avec la langue maternelle. Toutefois, d'autres études suggèrent une combinaison de ces deux hypothèses (Bhatara et al., 2013; Yoshida et al., 2010) : l'ITL reposerait sur des mécanismes universaux qui seraient également modulés par l'expérience linguistique. En effet, Bhatara et al. (2013) mettent en évidence deux résultats opposés concernant la durée avec des adultes francophones : lorsque cet indice est mélangé à des séquences contenant des variations d'intensité, ils groupent les séquences de façon iambique, mais lorsque cet indice est mélangé à des séquences contenant des variations de pitch, ils ne montrent aucune préférence quant à l'organisation des syllabes. Ainsi, étant donnée la variabilité de nos résultats quant à l'intensité (groupée de façon trochaïque avec des stimuli linguistiques, mais pas avec des stimuli non linguistiques), obtenus avec le même

groupe de participants typiques, il semblerait que la perception du rythme gouvernée par l'ITL soit effectivement bien un mécanisme universel influençable par la langue maternelle. Effectivement, dans notre population typique, francophone, le biais iambique est retrouvé pour les deux types de stimuli variant en durée, suggérant que le groupement du rythme basé sur la durée est fort et stable dès lors que cet indice doit être traité isolément et que l'on maîtrise le langage oral (dès 3 ans). De plus, la seule présence du biais trochaïque pour l'intensité est très probablement due à la saillance plus importante du contraste ; de ce fait, peut-être n'aurait-il pas été observé si nous avions utilisé les mêmes paramètres (ratio 1.2 et 1.33 au lieu de 1.4 et 1.66) que pour les deux autres conditions. Ceci soutiendrait donc l'idée de l'importance de l'expérience linguistique sur l'ITL : l'intensité et le pitch n'étant pas des indices saillants et fixes en français, le biais trochaïque ne serait alors pas retrouvé dans ces conditions.

Tous les groupes atypiques (A, AV, ANV, et SW) se comportent de la même manière que les participants typiques dans le traitement des pseudo-mots variant en intensité, et montrent un biais de groupement trochaïque. En revanche, les participants SW et certains participants TSA agissent de manière différente des typiques. En effet, seuls les participants TSA du groupe syndrome d'Asperger ont tendance à percevoir les tons purs et les syllabes variant en durée de façon iambique, ce qui n'est pas le cas des participants des groupes autisme verbal (pour les deux types de stimuli), autisme non verbal et syndrome de Williams. Ces résultats sont particulièrement intéressants car, comme nous l'avons présenté dans l'Introduction générale, la durée est un indice prosodique très important en français, et va guider le nourrisson dans l'apprentissage de sa langue maternelle. Ainsi, ces divergences entre les individus présentant un syndrome d'Asperger – ayant donc une acquisition typique du langage – et les individus présentant un trouble du spectre autistique autre que le syndrome d'Asperger, pourraient contribuer aux différentes trajectoires développementales du langage entre ces deux groupes. Il se pourrait que les individus avec autisme (autre que le syndrome d'Asperger) ne soient ni sensibles à la durée lorsque les variations acoustiques sont portées par des stimuli simples (comme les tons purs), ni sensibles lorsque cet indice est véhiculé par une information complexe telle que le langage, tout comme les individus SW.

De plus, les participants TSA de notre étude groupent également les tons purs variant en pitch de façon trochaïque, quel que soit leur type d'autisme, ce que nous ne retrouvons pas dans notre population typique. Ces résultats corroborent les résultats de de la Mora, Nespor, & Toro (2013) qui, en comparant le groupement de tons purs variant en durée ou en pitch chez des rats et des humains (locuteurs natifs espagnols), ont mis en évidence un biais universel du groupement trochaïque basé sur le pitch, qui serait donc indépendant de l'expérience linguistique. Dans leur étude, ces auteurs ont également montré que, contrairement au pitch, l'expérience pourrait être un facteur nécessaire au groupement iambique de séquences variant en durée, confirmant ainsi les études de Bion et al. (2011), Iversen et al. (2008), ou encore Yoshida et al. (2010). Nous retrouvons ce biais universel spécifiquement dans les populations où l'effet de la langue maternelle (groupement iambique pour la durée) est moins fort ou absent, notamment pour le groupe autisme verbal.

Ainsi, si l'on résume ces résultats, tous les groupements observés vont dans le sens de l'ITL (iambique pour la durée, trochaïque pour l'intensité et le pitch) : tous les groupes montrent des sensibilités aux groupements rythmiques selon l'ITL, au moins dans certaines conditions. Pour la durée, les deux groupes ayant un développement typique du langage – les participants neurotypiques et les individus ayant le syndrome d'Asperger – se comportent de la même manière, et ce pour les deux types de stimuli (linguistique et non linguistique), ce qui n'est pas le cas des trois autres groupes atypiques. Par conséquent, peut-être que l'impact de la langue sur le groupement de séquences variant en durée nécessite un développement linguistique typique. Ou alors, peut-être que c'est la perception atypique de la variation du rythme de la durée qui pourrait engendrer un développement atypique du langage. Pour l'intensité, tous les groupes perçoivent les pseudo-mots de façon trochaïque, mais pas les tons purs. Pourquoi ? Il se trouve que les ratios d'accentuation dans cette condition sont légèrement supérieurs aux ratios dans les deux autres conditions (le but étant de respecter les paramètres de la voix conversationnelle en français). Or on constate qu'avec un contraste plus fort (que dans les deux autres conditions et que dans la tâche utilisant des tons purs), tous les participants montrent un biais de groupement trochaïque. Le groupement de l'intensité serait donc également un biais universel observable si les stimuli sont suffisamment faciles à traiter. L'hétérogénéité des résultats dans la littérature

sur l'ITL pourrait alors s'expliquer par les différences entre les stimuli utilisés. Enfin, pour le pitch, seuls les individus TSA groupent les séquences de tons purs de façon trochaïque, alors que les NT et les SW ne montrent aucune préférence. Ceci suggère que le pitch serait également un biais universel modulé par la langue maternelle. En effet, on peut considérer que la spécialisation pour la langue maternelle atténue le groupement trochaïque pour le pitch (*perceptual attunement*, ou harmonisation perceptive), et que celui-ci ne soit retrouvé que dans les populations qui ne montrent pas un fort effet de la langue maternelle. Dans notre cas, l'observation du biais chez les participants ayant le syndrome d'Asperger pourrait s'expliquer par le fait que ces personnes se situent au carrefour entre le développement tout à fait typique, et le développement autistique général. Dans le cas où cette hypothèse serait la bonne, nous devrions observer un biais trochaïque pour le pitch chez les individus ayant le syndrome de Williams également, ce qui n'est pas notre cas. Ceci peut être expliqué par le faible nombre de participants dans ce groupe et/ou l'hétérogénéité des âges développementaux (avec seulement 3 adultes pour 13 enfants).

8.1.3 Le mécanisme de bootstrapping serait-il moins efficace dès l'âge de trois ans ?

Dans l'Expérience 4, nous avons familiarisé les participants avec une langue artificielle contenant certaines caractéristiques que l'on retrouve dans les langues naturelles, à savoir : des mots fréquents prosodiquement non-proéminents (mimant les mots de fonction), alternant avec des mots non fréquents prosodiquement proéminents (mimant les mots de contenu). Nous nous sommes intéressés à la manière dont les mots fréquents pouvaient servir de points d'ancrage dans l'apprentissage d'une nouvelle langue (tout comme cela est le cas dans le développement du langage, au cours de la première année de vie ; Bernard & Gervain, 2012; Gervain, Nespor, Mazuka, Horie, & Mehler, 2008; Gervain & Werker, 2007, 2013). La structure du flux utilisé dans la familiarisation permettait deux types d'organisation : unités de type [mot fréquent – mot infrequent] ou unités de type [mot infrequent – mot fréquent], mais la prosodie (contraste de durée) était celle qu'on retrouve dans les langues *fréquent-infrequent* ou VO, comme le français. Etant donné cette prosodie et l'ordre des mots du français, dans la phase de test, nous nous attendions à une préférence pour les items tests dans lesquels les mots fréquents étaient placés au début, plutôt que pour les items dans lesquels les mots fréquents étaient placés à la fin. Mais nous ne

retrouvons pas la préférence attendue ; au contraire, nous observons une préférence pour les items *infréquents–fréquents* (inattendue car structurés dans un autre ordre que celui des mots du français), et cette préférence est la même quel que soit l'âge des participants. A quoi cela peut-il être dû ?

Le français est une langue VO (le verbe est placé avant l'objet : « manger une pomme ») dans laquelle les mots de fonction (les articles, les pronoms, les prépositions) sont placés préférentiellement en position initiale dans le syntagme (« sur la table »). Toutefois, si cet ordre est typique de la syntaxe du français, il l'est beaucoup moins au niveau morphologique : en effet, le français contient aussi bien des préfixes (« réchauffer ») que des suffixes (« énormément »), plaçant des éléments fonctionnels fréquents tant avant les mots de contenus qu'après ceux-ci. Or il semblerait qu'il existe une tendance vers la suffixation dans les langues du monde (M S Dryer, 1992; Greenberg, 1957; Hawkins & Gilligan, 1988) : les langues OV (comme le japonais ou le basque) utilisent exclusivement des suffixes, tandis que de nombreuses langues VO (comme le français ou l'italien) utilisent des préfixes et également des suffixes (les suffixes étant d'ailleurs plus fréquents en français que les préfixes ; Dryer, 2008). De ce fait, il se peut que notre grammaire artificielle ait été entendue comme une succession de mots composés de radicaux et d'affixes, plutôt que comme une succession de syntagmes composés de mots de fonction et de mots de contenu. Si tel est le cas, nos participants n'ont donc pas mis en place de mécanisme de bootstrapping pour déterminer l'ordre des mots de la langue à laquelle ils ont été familiarisés : ils n'ont donc pas extrait d'information syntagmatique de la grammaire, et leur choix préférentiel est dû au caractère fortement suffixant du français, ainsi qu'à un biais en lien avec une préférence universelle pour la suffixation.

Cette interprétation possible est confirmée par une étude antérieure qui avait également mis en évidence une absence de préférence pour les séquences *fréquent-infréquent*, cette fois-ci dans une grammaire artificielle sans aucune prosodie, chez des locuteurs adultes français et italiens (deux langues VO) (Gervain et al., 2013), alors que les bébés de 7-8 mois apprenant ces mêmes langues montrent une nette préférence pour les syntagmes VO comparativement aux syntagmes OV (Bernard & Gervain, 2012; Gervain et al., 2008). De ce fait, il se pourrait que dans la première année de développement, les bébés – ayant peu d'expérience avec leur langue maternelle – traquent les régularités les plus basiques/saillantes de leur langue maternelle pour déterminer la grammaire, la syntaxe,

l'ordre des mots, alors que les adultes – ayant des capacités mnésiques plus importantes et une connaissance plus approfondie de leur langue – traqueraient davantage les distributions statistiques des différentes catégories lexicales, en donnant la priorité aux informations fréquentielles des items, et non aux informations prosodiques gouvernées par les variations de rythme. Une telle différence entre le traitement du langage entre nourrissons et adultes a été proposée de façon générale pour rendre compte de la période critique de l'acquisition du langage (Newport, 1990) : l'hypothèse de « *less is more* ». Selon cette hypothèse, la mémoire et l'attention limitées des nourrissons les poussent à extraire les généralisations les plus amples possibles d'un ensemble de données, favorisant ainsi l'apprentissage des règles grammaticales, tandis que les adultes, avec leurs capacités cognitives plus efficaces, seraient en mesure de mémoriser un grand nombre d'informations détaillées et spécifiques. Par conséquent, il se peut que le mécanisme de bootstrapping prosodique ne soit plus efficace après acquisition du langage, car les enfants et les adultes ont beaucoup plus de connaissances statistiques de leur langue maternelle (notamment de la morphologie de celle-ci), et connaissent donc mieux la distribution exacte des mots de fonction (fréquents) et des mots de contenu (non fréquents). Pour tester cette hypothèse, il faudrait tester des locuteurs d'une langue VO uniquement préfixante (et non pas à la fois préfixante et suffixante comme le français), dans laquelle les informations syntaxiques et morphologiques seraient alignées (la place des mots de fonction coïncidant avec les préfixes). Malheureusement, les populations parlant de telles langues (Guarani, Sango, Hunde, etc.), vivant dans certaines régions d'Amérique Latine et d'Afrique, sont difficilement accessibles.

Par ailleurs, les quatre groupes de participants atypiques que nous avons rencontrés se comportent de la même manière face à cette grammaire artificielle : aucun ne montre de préférence quant à l'ordre des mots composant cette nouvelle langue. Toutefois, la répartition des réponses est quelque peu différente pour le groupe syndrome d'Asperger : alors que les distributions des réponses sont plutôt normales dans les autres groupes, avec peu de participants présentant une préférence forte pour un des deux ordres possibles, celui-ci présente une distribution uniforme de ses réponses. Ainsi, près de 40% des participants du groupe syndrome d'Asperger montrent une préférence pour l'un des deux types de syntagmes : 20% choisissent préférentiellement les syntagmes structurés dans un ordre VO, et 19% les syntagmes structurés dans un ordre OV. De ce fait, on peut suggérer

qu'une partie des individus ayant le syndrome d'Asperger serait sensible aux indices prosodiques et fréquentiels lorsqu'elle est confrontée à une langue inconnue, et que ce groupe de personnes avec autisme serait capable de déduire une règle organisationnelle des mots d'une grammaire étrangère. En outre, 20 % des individus présentant un syndrome d'Asperger seraient capables de mettre en place des mécanismes de bootstrapping prosodique et fréquentiel, et de déterminer l'ordre des mots d'une langue inconnue, et ce après une phase de familiarisation de seulement 4 minutes. Effectivement, dans une étude similaire avec des adultes, Gervain et al. (2013) ont utilisé une phase de familiarisation de 17 minutes 30 secondes – soit plus de quatre fois plus longue que celle que nous avons utilisée dans notre expérience –, les phases de familiarisation courtes étant davantage utilisées avec des nourrissons (Bernard & Gervain, 2012; Gervain & Werker, 2013; Graf Estes, 2012). Par conséquent, non seulement un sous-groupe de participants TSA semble être capable d'utiliser le mécanisme de bootstrapping de l'ordre des mots, mais il semble également que le traitement des stimuli soit plus rapide et donc plus efficace dans ce groupe. Ainsi, 19% des individus ayant le syndrome d'Asperger se comportent de la même manière que nos participants typiques : ils traquent les informations morphologiques plutôt que les informations prosodiques. Mais 20% se comportent comme les bébés francophones de 8 mois : ils sont capables d'utiliser les variations prosodiques (cohérentes avec les variations fréquentielles) pour déterminer l'ordre des mots de la langue artificielle à laquelle ils sont confrontés. Il semblerait donc que 20% des individus Asperger soient davantage sensibles aux variations acoustiques du rythme plutôt qu'à la distribution statistique des mots fréquents/infréquents ; ils traqueraient donc les détails prosodiques qui seraient saillants pour des bébés typiques, mais plus pour des adultes typiques ayant une trop bonne connaissance de leur langue maternelle. Ceci soutient la théorie de la faible cohérence centrale de Frith (1989, 2006) : ce groupe de participants TSA ayant le syndrome d'Asperger semble faire preuve d'un meilleur traitement local de l'information auditive. Ils sont donc capables de déterminer l'ordre des mots de langue artificielle sur la base de la prosodie, ce que les individus typiques ne font pas. Ceci corrobore également les résultats de Altgassen, Kliegel, & Williams (2005). Dans le but d'investiguer la théorie de la faible cohérence centrale dans le domaine auditif (théorie qui a mis en évidence un biais de traitement local (donc meilleur) dans le domaine visuel), cette équipe s'est intéressée à la perception de notes de musique, et à l'identification de notes de musique dans des accords. Les résultats

ont montré que les trois groupes de participants testés (neurotypiques, syndrome d'Asperger, et autisme) obtenaient des résultats similaires dans la tâche de perception de note de musique, et a mis en évidence une différence entre les deux groupes de participants TSA (syndrome d'Asperger et autisme) dans la tâche d'identification de notes de musique contenues dans un accord : les enfants de 9 ans ayant le syndrome d'Asperger font preuve d'un biais de traitement local auditif, qui n'est pas retrouvé chez les enfants avec autisme et les enfants neurotypiques de même âge chronologique.

8.1.4 En somme, comment se comporte chacun des groupes atypiques ?

Si l'on reprend les résultats de chacun des quatre groupes atypiques, nous constatons une relative discordance entre les capacités perceptives de chacun.

Les individus TSA du groupe syndrome d'Asperger ont des seuils de discrimination tout à fait ordinaires, compte-tenu de leur âge chronologique. Ils groupent les séquences de sons variant en durée (tons purs et pseudo-mots) de façon iambique, les tons purs variant en pitch de façon trochaïque, et les syllabes variant en intensité de façon trochaïque. Par ailleurs, ils ne montrent pas de préférence, au niveau du groupe, pour les séquences VO ou OV dans une tâche de bootstrapping prosodique et fréquentiel, mais 40% d'entre eux choisissent davantage l'un ou l'autre des deux types d'items. Ainsi, globalement, toutes les mesures effectuées dans ce groupe sont semblables à celles effectuées dans le groupe de participants neurotypiques, suggérant un fonctionnement et une perception du langage tout à fait ordinaires dans le syndrome d'Asperger, ce qui pourrait expliquer l'acquisition du langage à un âge tout à fait typique. Pour revenir à notre hypothèse de départ, dans le syndrome d'Asperger, nous ne trouvons pas de différence avec les participants NT quant à l'amorçage prosodique de la langue maternelle.

Les individus TSA des groupes autisme verbal et autisme non verbal montrent de moins bonnes capacités de discrimination auditive que dans le développement typique ; pour la durée et le pitch de basses fréquences pour les individus verbaux, et pour les trois conditions pour les individus non verbaux. Ils ne présentent pas non plus de biais iambique pour la durée, quel que soit le type de stimuli ; au contraire, les individus verbaux (les seuls testés dans cette tâche) montrent un biais trochaïque pour les séquences de tons purs variant en pitch. Pour le groupement de syllabes variant en intensité et le mécanisme de

bootstrapping prosodique, ils se comportent comme leurs contrôles NT de même âge chronologique. Par conséquent, la différence majeure se situe donc au niveau des seuils de discrimination ainsi qu'au niveau de biais iambique attendu selon l'ITL. Les résultats des seuils sont très variables, compte tenu du grand nombre de profils non attendus dans ces groupes. De ce fait, il serait intéressant de reprendre les analyses uniquement pour les participants ayant correctement réussi la tâche (profils « performant » et « moins performant »), et façon à vérifier si leurs seuils de discrimination ne seraient pas effectivement plus fins que dans le développement typique, au moins dans la condition du pitch, puisque c'est cet indice pour lequel les études ont montré un avantage en faveur les individus TSA non Asperger (Bonnell et al., 2010; Heaton, Hermelin, & Pring, 1998; Jones et al., 2009). Ces capacités supérieures de discrimination du pitch, pourraient éventuellement expliquer pourquoi seule cette condition suit le biais attendu par l'ITL dans le cas de présentation de tons purs variant en pitch. De plus, si, comme proposé par Jones et al. (2009), seule la discrimination du pitch semble être meilleure que dans le développement typique, et non pas la discrimination de l'intensité ou de la durée, cela pourrait également expliquer pourquoi les individus TSA non Asperger ne sont pas sensibles aux groupements de séquences variant en durée : peut-être ne perçoivent-ils pas les variations prosodiques de la langue comme le perçoivent les individus neurotypiques ou ayant le syndrome d'Asperger. Lié à notre hypothèse de part, cela suggérerait que l'amorçage prosodique de la langue maternelle n'est pas opérationnel ou en tout cas pas de la même façon que dans le développement typique.

Alors, sur quel(s) mécanisme(s) reposerait l'acquisition du langage chez les personnes avec autisme verbal, étant donné qu'elles ne montrent aucune différence comparativement aux personnes avec autisme non verbal ? Il est assez difficile de répondre à cette question. D'une part, il faudrait reprendre les analyses de régression – incluant les QI, l'expérience musicale, l'hyperacousie, etc. – en séparant les trois groupes de participants TSA, de façon à déterminer si les facteurs explicatifs ont un effet variable selon le type d'autisme. D'autre part, la prise en charge des personnes avec autisme est très variable : certains ont pu être intégrés en milieu scolaire ordinaire pendant plusieurs années, d'autres ont été pris en charge dans des structures, adaptées ou non, dès leur plus jeune âge, et d'autres encore n'ont ni prise en charge adaptée, ni possibilité de scolarisation. Il se peut donc aussi que l'environnement des participants impacte leur manière d'acquérir le langage, quand ce

dernier se montre difficile à apparaître. Il pourrait alors être intéressant d'analyser les résultats obtenus à nos différentes tâches expérimentales selon la prise en charge qui a été proposée à ces individus (données que nous avons recueillies dans le cadre de cette thèse, mais que nous n'avons pas encore pu analyser).

Enfin, les individus SW semblent se situer à la frontière entre le syndrome d'Asperger et l'autisme non Asperger. En effet, ils ont des seuils de discrimination tout à fait ordinaires, compte-tenu de leur âge chronologique, groupent les syllabes variant en intensité de façon trochaïque, ne montrent pas de préférence pour les séquences VO ou OV dans une tâche de bootstrapping prosodique et fréquentiel, mais ne se montrent pas sensibles au biais iambique lors de l'écoute de pseudo-mots variant en durée. De ce fait, dans ce groupe où l'acquisition du langage est décalée dans le temps, mais où les capacités verbales rattrapent leur retard assez rapidement, la durée ne semble pas être traitée de façon typique. Ainsi, le développement plus tardif du langage pourrait être expliqué par l'absence du biais iambique, dans une langue où les patterns rythmiques sont principalement et majoritairement basés sur des variations de durée. La clef du développement du langage qui serait alors décalé dans le temps serait peut-être d'avoir des capacités de discrimination tout à fait dans les normes. Pour vérifier cette hypothèse, il faudrait rencontrer davantage de participants SW, et surtout davantage de participants adultes.

Nos résultats apportent donc de nouvelles données à la littérature quant à l'étude des capacités de discrimination, du biais prosodique, et du mécanisme de bootstrapping, dans une population typique francophone de 3 à 60 ans, et dans deux populations atypiques : le trouble du spectre autistique et le syndrome de Williams-Beuren. Nous avons pu mettre en évidence une grande similarité entre les individus ayant le syndrome d'Asperger et les individus typiques, alors que les personnes ayant un autisme autre que le syndrome d'Asperger et les personnes ayant le syndrome de Williams montrent quelques divergences par rapport aux individus typiques. Notre projet était relativement ambitieux car nous avons voulu tester tous les âges de développement avec la même procédure expérimentale, dans trois domaines prosodiques. Nous avons donc rencontré des enfants dès l'âge de 3 ans, et des adultes jusqu'à 60 ans. Examiner la perception de la prosodie dans une si grande tranche d'âge (jamais réalisé à ce jour), a permis de mettre en évidence les points forts et les points

faibles de notre procédure. Par exemple, nous avons mis en évidence la difficulté qu'ont éprouvé les jeunes enfants lors de la tâche de discrimination auditive, et avons ainsi créé de nouvelles méthodes de calcul des seuils, permettant de réduire le bruit dû aux fluctuations attentionnelles et de concentration. De plus, l'un des défis majeurs étaient d'étudier la perception de la prosodie dans l'ensemble du spectre de l'autisme, et non pas seulement chez les individus ayant les plus hauts niveaux de fonctionnement, ce qui n'a également jamais été fait à ce jour. Nous avons ainsi pu rencontrer 35 participants avec autisme n'ayant pas accès au langage oral, et, bien qu'il ait été impossible de réaliser tout ou partie du protocole avec un grand nombre d'entre eux, certains ont accepté et réalisé le protocole quasiment en totalité, ce qui n'a jamais été fait auparavant. Mais notre étude a tout de même ses limites.

8.1.5 L'amorçage prosodique de la langue maternelle

L'un des objectifs majeurs de cette thèse était d'apporter de nouveaux éléments aux recherches sur le rôle de la prosodie dans le développement typique, souvent appelée initialisation bootstrapping prosodique du langage. Comme nous l'avons déjà décrit, il a été proposé que les propriétés acoustiques serviraient d'amorçage à l'acquisition des propriétés structurales dans le développement typique, en guidant le jeune enfant dans l'acquisition de sa ou ses langue(s) maternelle(s). Nous voulions ainsi savoir si les populations atypiques étudiées avaient une audition atypique qui pourrait aboutir à une perception atypique de la prosodie linguistique qui, du coup, viendrait faire obstacle au développement typique du langage. Malgré nos hypothèses de départ, nous n'avons pas mis en évidence un lien étroit entre capacités de discrimination de bas niveau et développement linguistique. Au lieu de cela, il semblerait que le niveau linguistique des participants atypiques soit davantage fonction de leur QI que de leur perception acoustique de bas niveau.

8.2 Limites de l'étude

Un des paramètres le plus sujet à discussion dans notre étude est certainement celui du nombre de participants. Notre objectif étant d'étudier la perception de la prosodie à tous les âges du développement, nous avons ciblé une large tranche d'âge. Pour ce qui est du développement typique, le nombre d'enfants rencontrés était tout à fait suffisant pour permettre de créer des groupes d'âge successifs, par année, entre 3 et 10 ans, composés de

22 à 31 individus par groupe. Mais le recrutement d'adolescents (lycéens de 15 à 17 ans) et d'adultes (âgés de 31 à 60 ans) s'est avéré plus compliqué, fournissant deux groupes de seulement 11 et 17 individus respectivement. Mais là où le nombre de participants par groupe est sûrement le plus problématique, est dans le développement atypique. En effet, bien que notre échantillon de 173 participants TSA soit très généreux comparativement aux études existantes, nous avons choisi de départager ces participants en trois groupes selon leur type d'autisme, nous retrouvant alors avec un groupe bien moins grand : celui des 35 participants TSA non verbaux, parmi lesquels seuls 19 ont passé la totalité du protocole (excepté l'Expérience 2). Effectivement, parmi ce groupe, un grand nombre n'a pas été en mesure de réaliser une ou plusieurs tâche(s). De ce fait, les résultats que nous avons obtenus pour ce sous-groupe de TSA ne représentent peut-être pas fidèlement les forces et les faiblesses de leur groupe d'appartenance. Il en est de même pour le syndrome de Williams, quoique ici, tous les sujets testés aient pu être inclus dans les analyses, hormis le plus jeune de 4 ans.

Pourquoi avons-nous rencontré si peu de participants TSA non verbaux et de participants SW ? Deux explications sont envisageables. La première est la durée du protocole (près de 1h45). Or, lors du recrutement de nos participants, nous avons exposé le déroulement du protocole aux familles intéressées, et il est souvent arrivé que la durée de la passation les rebute, ne serait-ce que par rapport aux capacités de concentration de leurs enfants (qui, pour la plupart malheureusement, ne sont pas intégrés dans des écoles ordinaires, ou n'y sont intégrés qu'à temps partiel). Bien souvent, le protocole a été réalisé en une seule rencontre (surtout pour tous les participants recrutés en dehors de l'Île-de-France), mais nous avons pris soin de réaliser autant de pauses que nécessaires, et ce avec nos deux groupes atypiques (TSA et SW). Toutefois, l'addition de pauses allonge la durée de la rencontre, et demande aux participants d'être disponibles sur une période de temps moins restreinte.

La deuxième explication possible quant aux petits nombres de participants TSA non verbaux ou SW est la complexité des tâches. En effet, lorsque nous exposons grossièrement le protocole aux familles intéressées pour participer à l'étude, beaucoup nous ont informées que leurs enfants/adolescents/adultes seraient incapables de réaliser les tâches. Plus précisément, l'Expérience 1 paraissait souvent inenvisageable. Toutefois, nous avons utilisé

une procédure tout à fait similaire à la « Dino task » de Dorothy Bishop (Sutcliffe & Bishop, 2005), largement utilisée pour tester la discrimination auditive dans l'autisme (Chevallier et al., 2009, 2011; Jones et al., 2009; Salomäki et al., 2012) et même dans la dyslexie (Richardson et al., 2004), et donc tout à fait adaptée à des populations atypiques. Toutefois, si l'on regarde en détails ces précédentes études, les participants TSA étaient des individus présentant un syndrome d'Asperger (Chevallier, Noveck, Happé, & Wilson, 2009, 2011; Salomäki et al., 2012) ou ayant des capacités cognitives dans les normes (Jones et al., 2009), et la plupart d'entre eux étaient des adolescents (les plus jeunes participants testés étaient âgés d'au moins 8 ans, voir Salomäki et al., 2012). De ce fait, la tâche des dinos ne semble pas être adaptée à tous les types d'autisme, et, par extension, à toutes les populations atypiques. Il s'avère que l'Expérience 4 est finalement la tâche la plus simple pour les participants de ces deux groupes ; la consigne ne nécessite pas d'être explicitée verbalement, la phase d'entraînement suffit à initier une répétition des mots entendus.

Par ailleurs, nous avons jugé pertinent d'interroger les familles des participants concernant l'âge de production des premiers mots et des premières phrases. Or nous avons remarqué que pour certains participants TSA, l'âge de développement du langage n'était pas cohérent avec le diagnostic posé. Il serait intéressant de reprendre les analyses en séparant les groupes de participants TSA non pas par type de diagnostic, mais par type de développement linguistique ; mettant d'un côté les individus ayant un développement ordinaire du langage, et de l'autre les individus ayant un retard de développement langagier (les participants non verbaux restant, bien évidemment, des participants non verbaux).

De plus, nous avons choisi d'apparier nos participants atypiques à des participants typiques selon leur âge chronologique (appariement qui est largement utilisé dans la littérature). Toutefois, étant donné que les capacités cognitives semblent expliquer un bon nombre de capacités de perception prosodiques, il serait pertinent de comparer les performances de nos groupes atypiques à des individus typiques appariés en âge développemental (verbal et/ou non verbal).

8.3 Conclusions et perspectives

Ce travail apporte de nouvelles données venant compléter les travaux existant en matière d'évolution des capacités de discrimination auditive dans le développement typique ou atypique, en terme de sensibilité à l'ITL pour trois indices prosodiques que sont la durée, l'intensité, et la hauteur, et concernant le mécanisme de bootstrapping qui sous-tend l'acquisition de l'ordre des mots dans le développement typique. A travers cette thèse, nous avons vu que le développement des capacités auditives évoluait jusqu'à l'adolescence, âge auquel elles atteignent le même niveau que celles des adultes. Par ailleurs, nous avons montré que les biais perceptifs prosodiques sont modulés par l'expérience linguistique, soulignant les capacités communes entre les individus au développement typique du langage (neurotypique et syndrome d'Asperger), et les aptitudes inhabituelles des individus au développement atypique du langage (autisme verbal, autisme non verbal, et syndrome de Williams).

Mais quel est l'intérêt de cette recherche et qu'apporte-elle au développement atypique ? Un point fondamental est que l'on sait comment étudier la perception auditive chez les jeunes enfants : chez les nouveau-nés avec une technique d'imagerie appelée NIRS (*Near Infra-Red Spectroscopy* pour Spectroscopie proche infra-rouge), et chez les bébés plus âgés avec une technique comportementale appelée HPP (*Headturn Preference Procedure* pour Procédure de préférence par le regard). Si nos résultats mettent en évidence des atypies dans la perception de la prosodie chez les individus TSA, il est possible que ces différences soient présentes dès la naissance. Or nous savons qu'à la naissance, les bébés francophones traitent différemment les séquences de sons variant en durée, selon qu'elles soient iambiques ou trochaïques, tout en montrant de plus fortes activations cérébrales pour les séquences trochaïques (Abboub, 2015). Il serait donc tout à fait pertinent d'étudier la sensibilité à l'ITL chez des nouveau-nés à risque de TSA. Ainsi, s'il s'avère que les jeunes enfants avec autisme, diagnostiqués plus tard comme ayant un TSA autre que le syndrome d'Asperger, ne traitent pas différemment les séquences iambiques des séquences trochaïques lorsque les sons varient en durée, cela pourrait être un moyen de dépistage très précoce de l'autisme, permettant alors une prise en charge adaptée dès les premiers mois de vie. En effet, selon l'Organisation Mondiale de la Santé (2000), 7.6 millions de personnes

souffriraient de troubles du spectre autistique. Des centaines de gènes ont déjà été identifiés pour leurs rôles présumés dans les troubles autistiques, mais chacun d'eux n'explique au mieux que 1% des cas (Bourgeron, Leboyer, & Delorme, 2009; Delorme & Mouren, 2012). A ce jour, l'investigation génétique prénatale ne peut donc pas permettre un diagnostic précoce de l'autisme.

Par ailleurs, si l'on sait que les personnes ayant un retard dans le développement de leur langage (TSA autisme verbal et SW), voire une absence du développement linguistique (TSA non verbal), perçoivent différemment les rythmes acoustiques de la parole, il serait intéressant de fournir des méthodes de remédiation basées sur l'accentuation des variations prosodiques, permettant ainsi une meilleure prise en compte des patterns rythmiques, et peut-être une meilleure perception du langage de façon générale (d'autant plus que nos résultats suggèrent que lorsque le contraste est plus fort, tous les participants sont capables de grouper les sons comme attendu et prédit par l'ITL). Ceci pourrait alors réduire le décalage temporel dans le développement du langage de ces populations.

Enfin, nous ne nous sommes pas du tout intéressés au langage expressif, et donc aux variations prosodiques retrouvées dans la production de la parole. Or nous savons que les individus SW utilisent une prosodie « chantante », marquée par de plus importantes variations de pitch comparativement à des enfants typiques de même âge chronologique (Lacroix, Stojanovik, Dardier, & Laval, 2010; Reilly et al., 1990; Reilly, 1992), et que, au contraire, les individus TSA sont souvent caractérisés comme ayant une prosodie anormale, marquée par une restriction de la variété des intonations ainsi que des accentuations non adaptées au type de discours tenu (Happé, 1994 ; Haute Autorité de Santé, 2010). De ce fait, étudier le lien entre perception auditive et production de la prosodie serait une manière de mieux comprendre les mécanismes qui sous-tendent ces atypies expressives.

9. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abboub, N. (2015). *Étude d'un biais prosodique précoce : Le cas de la loi iambo-trochaïque*. Université Paris Descartes.
- Abrams, D. A., Bhatara, A., Ryali, S., Balaban, E., Levitin, D. J., & Menon, V. (2011). Decoding temporal structure in music and speech relies on shared brain resources but elicits different fine-scale spatial patterns. *Cerebral Cortex*, 21(7), 1507–1518. doi:10.1093/cercor/bhq198
- Altgassen, M., Kliegel, M., & Williams, T. I. (2005). Pitch perception in children with autistic spectrum disorders. *The British Journal of Developmental Psychology*, 23(4), 543–558. doi:10.1348/026151005X26840
- American Psychiatric Association. (2005). *DSM-IV-TR : Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux* (Masson.).
- Andersson, G., Lindvall, N., Hursti, T., & Carlbring, P. (2002). Hypersensitivity to sound (hyperacusis): a prevalence study conducted via the Internet and post. *International Journal of Audiology*, 41(8), 545–554. doi:10.3109/14992020209056075
- Aristote. (350BC). *Les politiques, Livre I, Chapitre I, Paragraphe 10*.
- Aslin, R. N. (1989). Discrimination of frequency transitions by human infants. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 86(2), 582–90. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2768673>
- Asperger, H. (1944). Die Autistischen Psychopathen. *Kindersalter, Archiv Fur Psychiatrie Und Nervenkrankheiten*, 117, 76–136.
- Attwood, T. (1999). *Asperger's syndrome: A guide for parents and professionals* (Jessica Ki.). London.
- Autisme Europe. (2008). First World Autism Awareness Day. *Autisme Europe*, (April), 13.
- Ayres, A. J. (1979). *Sensory Integration and the Child* (Western Ps.). Los Angeles.
- Baayen, R. H. (2008). *Analyzing Linguistic Data: A Practical Introduction to Statistics using R*. Cambridge University Press.
- Baguley, D. M. (2003). Hyperacusis. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 96(December), 582–585. doi:10.1258/jrsm.96.12.582
- Banai, K., Fisher, S., & Ganot, R. (2012). The effects of context and musical training on auditory temporal-interval discrimination. *Hearing Research*, 284(1-2), 59–66. doi:10.1016/j.heares.2011.12.002

- Banai, K., & Yuval-Weiss, N. (2013). Prolonged development of auditory skills: A role for perceptual anchoring? *Cognitive Development*, 28(3), 300–311. doi:10.1016/j.cogdev.2013.05.002
- Bellugi, U., Adolphs, R., Cassady, C., & Chiles, M. (1999). Towards the neural basis for hypersociability in a genetic syndrome. *NeuroReport*, 10(8), 1653–1657.
- Bernard, C., & Gervain, J. (2012). Prosodic Cues to Word Order: What Level of Representation? *Frontiers in Psychology*. Hillsdale: NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc. doi:10.3389/fpsyg.2012.00451
- Bertone, A., Mottron, L., Jelenic, P., & Faubert, J. (2005). Enhanced and diminished visuo-spatial information processing in autism depends on stimulus complexity. *Brain*, 128, 2430–2441. doi:10.1093/brain/awh561
- Besson, M., Chobert, J., & Marie, C. (2011). Transfer of training between music and speech: Common processing, attention, and memory. *Frontiers in Psychology*, 2(94), 1–12. doi:10.3389/fpsyg.2011.00094
- Besson, M., Schön, D., Moreno, S., Santos, A., & Magne, C. (2007). Influence of musical expertise and musical training on pitch processing in music and language. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 25(3-4), 399–410.
- Beuren, A. J., Aritz, J., & Harmjanz, D. (1962). Supravalvular Aortic Stenosis in Association with Mental Retardation and a Certain Facial Appearance. *Circulation*, XXVI, 1235–1240. doi:10.1161/01.CIR.26.6.1235
- Bhatara, A., Boll-Avetisyan, N., Unger, A., Nazzi, T., & Höhle, B. (2013). Native language affects rhythmic grouping of speech. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 134(5), 3828–3843. doi:10.1121/1.4823848
- Bhatara, A., Quintin, E.-M., Levy, B., Bellugi, U., Fombonne, E., & Levitin, D. J. (2010). Perception of emotion in musical performance in adolescents with autism spectrum disorders. *Autism Research*, 3(5), 214–25. doi:10.1002/aur.147
- Bhatara, A., Yeung, H. H., & Nazzi, T. (2015). Foreign Language Learning in French Speakers Is Associated With Rhythm Perception, but Not With Melody Perception. *Journal of Experimental Psychology; Human Perception and Performance*, 41(2), 277–282.
- Bijeljac-Babic, R., Serres, J., Höhle, B., & Nazzi, T. (2012). Effect of bilingualism on lexical stress pattern discrimination in French-learning infants. *PLoS ONE*, 7(2), 1–8. doi:10.1371/journal.pone.0030843

- Bion, R. A. H., Benavides-Varela, S., & Nespor, M. (2011). Acoustic Markers of Prominence Influence Infants' and Adults' Segmentation of Speech Sequences. *Language and Speech*, 54(1), 123–140. doi:10.1177/0023830910388018
- Bion, R. A. H., Höhle, B., & Schmitz, M. (2007). The role of prosody on the perception of word-order differences by 14-month-old German infants. In J. Barry & W. J. Trouvain (Eds.), *Proceedings of the 16th International Congress of Phonetic Sciences* (pp. 1537–1540). Saarbrücken: Germany: International Congress of Phonetic Sciences.
- Bishop, D. V. M. (1997). *Uncommon Understanding: Development and Disorders of Language Comprehension in Children*. East Sussex: Psychology Press.
- Bloom, L. (1970). *Language development: Form and function in emerging grammars*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Boersma, P. (2001). PRAAT, A systems for doing phonetics by computer. In *Glott International* (Vol. 5, pp. 341–345). doi:10.1017/CBO9781107415324.004
- Böhning, M., Campbell, R., & Karmiloff-Smith, A. (2002). Audiovisual speech perception in Williams syndrome. *Neuropsychologia*, 40(8), 1396–1406. doi:S0028393201002081 [pii]
- Boll-Avetisyan, N., Bhatara, A., Unger, A., Nazzi, T., & Höhle, B. (2015). Effects of experience with L2 and music on rhythmic grouping by French listeners. *Bilingualism: Language and Cognition*. doi:10.1017/S1366728915000425
- Bolton, T. L. (1894). Rhythm. *The American Journal of Psychology*, VI(2), 145–238.
- Bonnel, A. (2009). *The auditory puzzle in autism: Assessing the role of stimulus complexity in pitch, timbre, and loudness discrimination*. McGill University, Montreal.
- Bonnel, A., McAdams, S., Smith, B., Berthiaume, C., Bertone, A., Ciocca, V., ... Mottron, L. (2010). Enhanced pure-tone pitch discrimination among persons with autism but not Asperger syndrome. *Neuropsychologia*, 48(9), 2465–2475. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2010.04.020
- 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. doi:10.1162/089892903321208169
- Bourgeron, T., Leboyer, M., & Delorme, R. (2009). Autisme, la piste génétique se confirme. *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine*, 193(2), 295–299.
- Brin, F., Courier, C., Lederle, E., & Masy, V. (2004). *Dictionnaire d'Orthophonie* (Ortho Edit.). Isbergues.

- Brown, R. (1973). *A first language: The early stages*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Bruner, J. (1983). *Savoir faire, savoir dire*. Paris: PUF.
- Bursztejn, C., & Aussilloux, C. (2008). *Développement normal du langage et ses troubles*. Ministère des Affaires sociales, de la Santé, et des Droits des femmes.
- Buss, E., Hall, J. W., & Grose, J. H. (2009). Psychometric functions for pure tone intensity discrimination: slope differences in school-aged children and adults. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 125(2), 1050–1058. doi:10.1121/1.3050273
- Calliope. (1989). *La parole et son traitement automatique*. (J. . Tubach, Ed.) (Masson.). Paris.
- Capber, A. (2011). *Perception de la hauteur tonale par le patient implanté cochléaire : relation avec la perception de la prosodie linguistique*.
- Chen, A., & Kager, R. (2011). The perception of lexical tones and tone Sandhi in L2: Success or failure? In *ICPhS XVII* (pp. 444–7). Hong Kong.
- Chevallier, C., Noveck, I., Happé, F., & Wilson, D. (2009). From acoustics to grammar: Perceiving and interpreting grammatical prosody in adolescents with Asperger Syndrome. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 3(2), 502–516. doi:10.1016/j.rasd.2008.10.004
- Chevallier, C., Noveck, I., Happé, F., & Wilson, D. (2011). What's in a voice? Prosody as a test case for the Theory of Mind account of autism. *Neuropsychologia*, 49(3), 507–517. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2010.11.042
- Chobert, J., & Besson, M. (2013). Musical expertise and second language learning. *Brain Sciences*, 3(2), 923–940. doi:10.3390/brainsci3020923
- Chomsky, N. (1959). Review of Skinner's Verbal Behavior. *Language*, 35, 26–58.
- Chomsky, N. (1965). *Aspects of the theory of syntax*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Chomsky, N. (1981). *Lectures on government and binding*. Dordrecht: Foris.
- Chomsky, N. (1986). *Knowledge of language: Its nature, origin, and use* (Praeger.). New York.
- Christophe, A., Guasti, T., & Nespors, M. (1997). Reflections on Phonological Bootstrapping : Its Role for Lexical and Syntactic Acquisition., 12(5/6), 585–612.
- Christophe, A., Nespors, M., Teresa Guasti, M., & Van Ooyen, B. (2003). Prosodic structure and syntactic acquisition: The case of the head-direction parameter. *Developmental Science*, 6(2), 211–220. doi:10.1111/1467-7687.00273

- Cohen, M., Elsabbagh, M., Rosen, S., Witton, C., Rippon, G., & Karmiloff-Smith, A. (2005). Peripheral auditory function does not explain hyperacusis in Williams syndrome: Preliminary data from a hyperacusis questionnaire and audiometric assessment. In *The European Federation of Audiological Societies*. Guttenberg.
- Cooper, G., & Meyer, L. (1960). *The rhythmic structure of music* (University.). Chicago, Illinois.
- Dai, H., & Micheyl, C. (2011). Psychometric functions for pure-tone frequency discrimination. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 130(1), 263–272. doi:10.1121/1.3598448
- De la Mora, D. M., Nespor, M., & Toro, J. M. (2013). Do humans and nonhuman animals share the grouping principles of the iambic-trochaic law? *Attention, Perception & Psychophysics*, 75(1), 92–100. doi:10.3758/s13414-012-0371-3
- Delacato, C. (1974). *The ultimate stanger: The autistic child* (Academic T.). Noveto, CA.
- Delattre, P. (1966). A Comparison of Syllable Length Conditioning Among Languages. *International Review of Applied Linguistics in Language Teaching*, 4(3), 183–198.
- Delorme, R., & Mouren, M.-C. (2012). Troubles du spectre autistique : qu'apprend-on de la génétique ? *Annales Médico-Psychologiques*, 170, 476–478. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.amp.2012.07.001
- Diehl, J. J., Bennetto, L., Watson, D., Gunlogson, C., & McDonough, J. (2008). Resolving ambiguity: a psycholinguistic approach to understanding prosody processing in high-functioning autism. *Brain and Language*, 106(2), 144–52. doi:10.1016/j.bandl.2008.04.002
- Doyle, T. F., Bellugi, U., Korenberg, J. R., & Graham, J. M. (2004). “Everybody in the world is my friend” Hypersociability in young children with Williams syndrome. *American Journal of Medical Genetics*, 124A, 263–273. doi:10.1002/ajmg.a.20416
- Dryer, M. S. (1992). The Greenbergian word order correlations. *Language*, 68, 81–138. doi:10.1353/lan.1992.0028
- Dryer, M. S. (2008). Prefixing vs. suffixing in inflectional morphology. *The World Atlas of Language Structures*.
- Durkin, M. (2013). Maureen Durkin: The Epidemiology of Autism Spectrum Disorder: Toward a More Inclusive World. In *International Meeting for Autism Research (IMFAR)*. San Sebastian, Spain. Retrieved from <http://www.disabilitymeasures.org/durkin-imfar/>

- Eggermont, J. J., & Moore, J. K. (2012). Morphological and functional development of the auditory nervous system. In L. A. Werner, R. R. Fay, & A. N. Popper (Eds.), *Handbook of Auditory Research* (Springer., pp. 61–106). New York.
- Elfenbein, J. L., Small, A. M., & Davis, J. M. (1993). Developmental patterns of duration discrimination. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 36(4), 842–849.
- Elsabbagh, M., Cohen, H., Cohen, M., Rosen, S., & Karmiloff-Smith, A. (2011). Severity of hyperacusis predicts individual differences in speech perception in Williams Syndrome. *Journal of Intellectual Disability Research*, 55(6), 563–571. doi:10.1111/j.1365-2788.2011.01411.x
- Encyclopédie Orphanet. (2012). *Le syndrome de Williams*. Encyclopédie Orphanet.
- Ewart, A. K., Morris, C. A., Atkinson, D., Jin, W., Sternes, K., Spallone, P., ... Keating, M. T. (1993). Hemizygoty at the elastin locus in a developmental disorder, Williams syndrome. *Nature Genetics*, 5, 11–16. doi:10.1038/ng0993-11
- Fédération Française de Psychiatrie, Baghdadli, A., & Haute Autorité de Santé. (2005). *Recommandations pour la pratique professionnelle du diagnostic de l'autisme*. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Recommandations+pour+la+pratique+professionnelle+du+diagnostic+de+l+?+autisme#1\nhttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Recommandations+pour+la+pratique+professionnelle+>
- Féry, C., Hörnig, R., & Pahaut, S. (2011). Correlates of phrasing in French and German from an experiment with semi-spontaneous speech. *Intonational Phrasing in Romance and Germanic*, 11–41. Retrieved from <https://benjamins.com/#catalog/books/hsm.10/main>
- France, S. J., Rosner, B. S., Hansen, P. C., Calvin, C., Talcott, J. B., Richardson, A. J., & Stein, J. F. (2002). Auditory frequency discrimination in adult developmental dyslexics. *Perception & Psychophysics*, 64(2), 169–179. doi:10.3758/BF03195783
- Frigerio, E., Burt, D. M., Gagliardi, C., Cioffi, G., Martelli, S., Perrett, D. I., & Borgatti, R. (2006). Is everybody always my friend? Perception of approachability in Williams syndrome. *Neuropsychologia*, 44, 254–259. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2005.05.008
- Frith, U. (1989). *Autism: Explaining the Enigma* (Blackwell.). Oxford.
- Gelfand, S. A. (2009). *Essentials of Audiology* (3rd editio.). Thieme Medical Publishers, Inc.

- Georgeton, L., Paillereau, N., Landron, S., Gao, J., & Kamiyama, T. (2012). Analyse formantique des voyelles orales du français en contexte isolé : à la recherche d'une référence pour les apprenants de FLE. In *JEP-TALN-RECITAL* (Vol. 1, p. 145-152).
- Gervain, J., Nespor, M., Mazuka, R., Horie, R., & Mehler, J. (2008). Bootstrapping word order in prelexical infants: A Japanese-Italian cross-linguistic study. *Cognitive Psychology*, 57(1), 56–74. doi:10.1016/j.cogpsych.2007.12.001
- Gervain, J., Sebastián-Gallés, N., Díaz, B., Laka, I., Mazuka, R., Yamane, N., ... Mehler, J. (2013). Word frequency cues word order in adults: cross-linguistic evidence. *Frontiers in Psychology*, 4(October), 689. doi:10.3389/fpsyg.2013.00689
- Gervain, J., & Werker, J. F. (2007). Frequency and Prosody Bootstrap Word Order: A Cross-Linguistic Study with 7-month-old Infants., 2–3.
- Gervain, J., & Werker, J. F. (2013). Prosody cues word order in 7-month-old bilingual infants. *Nature Communications*, 4, 1490. doi:10.1038/ncomms2430
- Ghasemi, A., & Zahediasl, S. (2012). Normality Tests for Statistical Analysis: A Guide for Non-Statisticians. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 10(2), 2012.
- Gilbert-Dussardier, B. (2006). Le syndrome de Williams-Beuren. *Encyclopédie Orphanet*, 56(Décembre), 2102–6. doi:10.1016/j.rhum.2006.10.342
- Gleitman, L. R. (1990). The structural sources of verb meanings. *Language Acquisition*, 1, 3–55.
- Gleitman, L. R., & Wanner, E. (1982). The state of the state of the art. In E. Wanner & L. R. Gleitman (Eds.), *Language acquisition: The state of the art* (pp. 3–48). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Gomot, M., Giard, M.-H., Adrien, J.-L., Barthélémy, C., & Bruneau, N. (2002). Hypersensitivity to acoustic change in children with autism: electrophysiological evidence of left frontal cortex dysfunctioning. *Psychophysiology*, 39(5), 577–584. doi:10.1017.S0048577202394058
- Gosch, A., Städing, G., & Pankau, R. (1994). Linguistic abilities in children with Williams-Beuren syndrome. *American Journal of Medical Genetics*, 52(3), 291–296. doi:10.1002/ajmg.1320520308
- Gothelf, D., Farber, N., Raveh, E., Apter, A., & Attias, J. (2006). Hyperacusis in Williams syndrome: Characteristics and associated neuroaudiologic abnormalities. *Neurology*, 66(3), 390–395. doi:10.1212/01.wnl.0000196643.35395.5f

- Graf Estes, K. (2012). Infants generalize representations of statistically segmented words. *Frontiers in Psychology*, 3(October), 447. doi:10.3389/fpsyg.2012.00447
- Grandin, T. (1997). A personal perspective on autism. In D. J. Cohen & F. R. Volkmar (Eds.), *Handbook of autism and pervasive developmental disorders*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Greenberg, J. H. (1957). Order of Affixing: a Study in General Linguistics. In J. H. Greenberg (Ed.), *Essays in Linguistics* (pp. 86–94). Chicago, Illinois: University of Chicago Press.
- Grégoire, J., & Wierzbicki, C. (2009). Comparaison de quatre formes abrégées de l'échelle d'intelligence de Wechsler pour adultes - troisième édition (WAIS-III). *Revue Européenne de Psychologie Appliquée*, 59(1), 17–24. doi:10.1016/j.erap.2007.08.003
- Groenen, P., Crul, T., Maassen, B., & van Bon, W. (1996). Perception of voicing cues by children with early otitis media with and without language impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 39, 43–54.
- Grossman, R. B., Bemis, R. H., Plesa Skwerer, D., & Tager-Flusberg, H. (2010). Lexical and affective prosody in children with high-functioning autism. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 53(3), 778–93. doi:10.1044/1092-4388(2009/08-0127)
- Guasti, M. T., Christophe, A., van Ooyen, B., & Nespor, M. (2001). Pre-lexical setting of the head complement parameter. In J. Weissenborn & B. Höhle (Eds.), *Approaches to bootstrapping: Phonological, lexical, syntactic and neuro-physiological aspects of early language acquisition* (John Benja., Vol. 1, pp. 231–248). Amsterdam.
- 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. doi:10.1007/s10803-005-0039-0
- Hartley, D. E. H., Wright, B. A., Hogan, S. C., & Moore, D. R. (2000). Age-Related Improvements in Auditory Backward and Simultaneous Masking in 6- to 10-Year-Old Children. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 43(December), 1402–1416.
- Haute Autorité de Santé. (2010). *Autisme et autres troubles envahissants du développement: Etat des connaissances hors mécanismes physiopathologiques, psychopathologiques et recherche fondamentale*.

- Havy, M., Moukawane, S., & Nazzi, T. (2010). Are 3-to-8-year-old children with Williams syndrome good word-learners? *NeuroReport*, 21(13), 882–6. doi:10.1097/WNR.0b013e32833da451
- Hawkins, J., & Gilligan, G. (1988). Prefixing and suffixing universals in relation to basic word order. *Lingua*, 74, 219–259. doi:10.1016/0024-3841(88)90060-5
- Hay, J. S. F., & Diehl, R. L. (1999). Effect of duration, intensity, and F0 alternations on rhythmic grouping. In *The XIVth International Congress of Phonetic Sciences* (pp. 245–248). San Francisco.
- Hay, J. S. F., & Diehl, R. L. (2007). Perception of rhythmic grouping: testing the iambic/trochaic law. *Perception & Psychophysics*, 69(1), 113–122. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17515221>
- Hay, J. S. F., & Saffran, J. R. (2012). Rhythmic Grouping Biases Constrain Infant Statistical Learning. *Infancy*, 17(6), 610–641. doi:10.1111/j.1532-7078.2011.00110.x
- Hayes, B. (1985). Iambic and Trochaic Rhythm in Stress Rules. In *The Eleventh Annual Meeting of the Berkeley Linguistics Society* (pp. 429–446).
- Hayes, B. (1995). *A Metrical Theory of Stress: Principles and Case Studies*. Chicago, Illinois: University of Chicago Press.
- Heaton, P. (2005). Interval and contour processing in autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 35(6), 787–793.
- Heaton, P. F., Hermelin, B., & Pring, L. (1998). Autism and pitch processing: A precursor for savant musical ability? *Music Perception*, 15, 291–305. doi:10.2307/40285769
- Heaton, P., Hudry, K., Ludlow, A., & Hill, E. (2008a). Superior discrimination of speech pitch and its relationship to verbal ability in autism spectrum disorders. *Cognitive Neuropsychology*, 25(6), 771–782. doi:10.1080/02643290802336277
- Heaton, P., Hudry, K., Ludlow, A., & Hill, E. (2008b). Superior discrimination of speech pitch and its relationship to verbal ability in autism spectrum disorders. *Cognitive Neuropsychology*, 25(6), 771–782. doi:10.1080/02643290802336277
- Heaton, P., Pring, L., & Hermelin, B. (2001). Musical processing in high functioning children with autism. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 930(1), 443–444.
- 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. doi:10.1177/1362361307085270

- Höhle, B., Bijeljic-Babić, R., Herold, B., Weissenborn, J., & Nazzi, T. (2009). Language specific prosodic preferences during the first half year of life : Evidence from German and French infants. *Infant Behavior & Development*, 32, 262–274. doi:10.1016/j.infbeh.2009.03.004
- Höhle, B., & Weissenborn, J. (2003). German-learning infants' ability to detect unstressed closed-class elements in continuous speech. *Developmental Science*, 6, 122–127.
- Höhle, B., Weissenborn, J., Schmitz, M., & Ischebeck, A. (2001). Discovering Word Order Regularities: The Role of Prosodic Information for Early Parameter Setting. In J. Weissenborn & B. Höhle (Eds.), *Approaches to Bootstrapping: Phonological, Lexical, Syntactic and Neurophysiological Aspects of Early Language Acquisition*. Amsterdam: John Benjamins.
- INSERM. (2007). Acquisition du langage oral : repères chronologiques. In INSERM (Ed.), *Dyslexie, dysorthographe, dyscalculie - Bilan des données scientifiques* (Expertise ., pp. 5–32).
- Irwin, R. J., Ball, A. K. R., Kay, N., Stillman, J. A., & Rosser, J. (1985). The development of auditory temporal acuity in children. *Child Development*, 56(3), 614–620.
- Iversen, J. R., Patel, A. D., & Ohgushi, K. (2008). Perception of rhythmic grouping depends on auditory experience. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 124(4), 2263–71. doi:10.1121/1.2973189
- Järvinen, A., Dering, B., Neumann, D., Ng, R., Crivelli, D., Grichanik, M., ... Bellugi, U. (2012). Sensitivity of the autonomic nervous system to visual and auditory affect across social and non-social domains in williams syndrome. *Frontiers in Psychology*, 3(September), 343. doi:10.3389/fpsyg.2012.00343
- 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, 239–248. doi:10.1007/s10803-007-0386-0
- Järvinen-Pasley, A., Peppé, S., King-Smith, G., & Heaton, P. (2008). The relationship between form and function level receptive prosodic abilities in autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 38, 1328–1340. doi:10.1007/s10803-007-0520-z
- Järvinen-Pasley, A., Wallace, G. L., Ramus, F., Happé, F., & Heaton, P. (2008). Enhanced perceptual processing of speech in autism. *Developmental Science*, 11(1), 109–21. doi:10.1111/j.1467-7687.2007.00644.x

- Jensen, J. K., & Neff, D. L. (1993). Development of Basic Auditory Discrimination in Preschool Children. *Psychological Science*, 4(2), 104–107. doi:10.1111/j.1467-9280.1993.tb00469.x
- Jentschke, S., Koelsch, S., & Friederici, A. D. (2005). Investigating the relationship of music and language in children: Influences of musical training and language impairment. In G. Avanzini, L. Lopez, S. Koelsch, & M. Majno (Eds.), *The Neurosciences and Music II. From Perception to Performance* (Wiley., Vol. 1060, pp. 231–242). New York: Annals of the New York Academy of Sciences. Retrieved from <http://discovery.ucl.ac.uk/162364/>
- Johnson, J. S., & Newport, E. L. (1989). Critical period effects in second language learning: The influence of maturational state on the acquisition of English as a second language. *Cognitive Psychology*, 21(1), 60–99. doi:10.1016/0010-0285(89)90003-0
- Johnson, J. S., & Newport, E. L. (1991). Critical period effects on universal properties of language: The status of subjacency in the acquisition of a second language. *Cognition*, 39, 215–258.
- Jones, C. R. G., Happé, F., Baird, G., Simonoff, E., Marsden, A. J. S., Tregay, J., ... Charman, T. (2009). Auditory discrimination and auditory sensory behaviours in autism spectrum disorders. *Neuropsychologia*, 47, 2850–8. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2009.06.015
- Jones, W., Bellugi, U., Lai, Z., Chiles, M., Reilly, J., Lincoln, A., & Adolphs, R. (2000). Hypersociability in Williams Syndrome. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(Supplement), 30–46. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21320764>
- Jun, S.-A., & Fougeron, C. (2002). Realizations of accentual phrase in French intonation. *Probus*, 14(1), 147–172. doi:10.1515/prbs.2002.002
- Jusczyk, P. W., Cutler, A., & Redanz, N. J. (1993). Infants' preference for the predominant stress patterns of English words. *Child Development*, 64(3), 675–687. doi:10.1111/j.1467-8624.1993.tb02935.x
- Jusczyk, P. W., Houston, D. M., & Newsome, M. (1999). The Beginnings of Word Segmentation in English-Learning Infants. *Cognitive Psychology*, 39(3-4), 159–207. doi:10.1006/cogp.1999.0716
- Jusczyk, P. W., Pisoni, D. B., Reed, M. A., Fernald, A., & Myers, M. (1983). Infants' discrimination of the duration of a rapid spectrum change in nonspeech signals. *Science*, 222(4620), 175–177. doi:10.1126/science.6623067

- Kanner, L. (1943). Autistic disturbances of affective contact. *Nervous Child*, 2, 217–250.
doi:10.1105/tpc.11.5.949
- Karmiloff-Smith, A. (1998). Development itself is the key to understanding developmental disorders. *Trends in Cognitive Sciences*, 2(10), 389–398. doi:10.1016/S1364-6613(98)01230-3
- Kellerman, G. R., Fan, J., & Gorman, J. M. (2005). Auditory Abnormalities in Autism : Toward Functional Distinctions Among Findings. *CNS Spectrums*, 10(9), 748–756.
- Klein, A. J., Armstrong, B. L., Greer, M. K., & Brown, F. R. (1990). Hyperacusis and Otitis Media in Individuals with Williams Syndrome. *The Journal of Speech and Hearing Disorders*, 55, 339–344.
- 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. doi:10.1162/089892905774597290
- Koelsch, S., Kasper, E., Sammler, D., Schulze, K., Gunter, T., & Friederici, A. D. (2004). Music, language and meaning: brain signatures of semantic processing. *Nature Neuroscience*, 7(3), 302–307. doi:10.1038/nn1197
- Lacroix, A., Stojanovik, V., Dardier, V., & Laval, V. (2010). Prosodie et Syndrome de Williams : une étude inter-langue. *Enfance*, 3, 287–300.
- Lacroix, A., Stojanovik, V., & Lukacs, A. (2009). What do we learn on language acquisition from Williams syndrome? In C. R. Dreyer (Ed.), *Language and linguistics: Emerging trends* (pp. 177–192). Nova Science Publishers. Retrieved from <http://centaur.reading.ac.uk/22935/>
- Lapaire, J.-R., & Rotgé, W. (1993). *Séminaire pratique de linguistique anglaise*. Toulouse: Presses Universitaires du Mirail.
- Lasnik, H. (1989). On certain substitutes for negative data. In R. Matthews & W. Demopoulos (Eds.), *Learnability and Linguistic Theory* (Reidel., pp. 89–105).
- Laval, V., Le Sourn-Bissaoui, S., Girard, P., Chevreuil, C., & Aguert, M. (2012). Prosodie émotionnelle et compréhension des actes de langage expressifs chez des enfants et adolescents avec un Trouble du Spectre Autistique. *Revue Française de Linguistique Appliquée*, 17(2), 77–88.

- Leekam, S. R., Nieto, C., Libby, S. J., Wing, L., & Gould, J. (2007). Describing the sensory abnormalities of children and adults with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 37(5), 894–910. doi:10.1007/s10803-006-0218-7
- Lenneberg, E. H. (1967). *Biological Foundations of Language* (John Wiley.). New York. doi:10.1212/WNL.17.12.1219
- 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. doi:10.1016/j.biopsycho.2007.08.010
- Levitin, D. J., Cole, K., Chiles, M., Lai, Z., Lincoln, A., & Bellugi, U. (2004). Characterizing the Musical Phenotype in Individuals With Williams Syndrome. *Child Neuropsychology*, 10(4), 223–247. doi:10.1080/09297040490909288
- Levitin, D. J., Cole, K., Lincoln, A., & Bellugi, U. (2005). Aversion, awareness, and attraction: Investigating claims of hyperacusis in the Williams syndrome phenotype. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 46(5), 514–523. doi:10.1111/j.1469-7610.2004.00376.x
- Levitin, D. J., Menon, V., Schmitt, J. E., Eliez, S., White, C. D., Glover, G. H., ... Reiss, A. L. (2003). Neural correlates of auditory perception in Williams syndrome: an fMRI study. *NeuroImage*, 18(1), 74–82. doi:10.1006/n
- Levitt, H. (1970). Transformed Up-Down Methods in Psychoacoustics. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 467–477.
- Lurquin, P., & Papart, T. (2014). Le test ANL est-il prédictif de l'hyperacousie ? *Les Cahiers de l'Audition*, 5, 46–51.
- Maess, B., Koelsch, S., Gunter, T. C., & Friederici, A. D. (2001). Musical syntax is processed in Broca's area: an MEG study. *Nature Neuroscience*, 4(5), 540–545. doi:10.1038/87502
- Majerus, S., Barisnikov, K., Vuillemin, I., Poncelet, M., & van der Linden, M. (2003). An investigation of verbal short-term memory and phonological processing in four children with Williams syndrome. *Neurocase*, 9(5), 390–401. doi:10.1076/neur.9.5.390.16558
- Majerus, S., Poncelet, M., Bérault, A., Audrey, S., Zesiger, P., Serniclaes, W., & Barisnikov, K. (2011). Evidence for atypical categorical speech perception in Williams syndrome. *Journal of Neurolinguistics*, 24(3), 249–267. doi:10.1016/j.jneuroling.2010.09.003

- Mampe, B., Friederici, A. D., Christophe, A., & Wermke, K. (2009). Newborns' Cry Melody is Shaped by Their Native Language. *Current Biology*, 19, 1994–1997. doi:10.1016/j.cub.2009.09.064
- Maratsos, M., & Chalkley, M. (1980). The internal language of children's syntax. In K. Nelson (Ed.), *Children's language* (Vol. 2). New York: Gardner Press.
- Marler, J. A., Elfenbein, J. L., Ryals, B. M., Urban, Z., & Netzloff, M. L. (2005). Sensorineural hearing loss in children and adults with Williams syndrome. *American Journal of Medical Genetics*, 138(A), 318–327. doi:10.1002/ajmg.a.30970
- Masataka, N. (2001). Why early linguistic milestones are delayed in children with Williams syndrome: late onset of hand banging as a possible rate-limiting constraint on the emergence of canonical babbling. *Developmental Science*, 4(2), 158–164. doi:10.1111/1467-7687.00161
- Mattys, S. L., & Jusczyk, P. W. (2001). Phonotactic cues for segmentation of fluent speech by infants. *Cognition*, 78, 91–121.
- Maxon, A. B., & Hochberg, I. (1982). Development of psychoacoustic behavior: sensitivity and discrimination. *Ear and Hearing*, 3(6), 301–308. doi:10.1097/00003446-198211000-00003
- Mazuka, R. (1996). Can a Grammatical Parameter be Set Before the First Word? Prosodic Contributions to Early Setting of a Grammatical Parameter. In *Signal to Syntax* (Lawrence E., pp. 313–330). Hillsdale, NJ.
- McCann, J., & Peppé, S. (2003). Prosody in autism spectrum disorders: a critical review. *International Journal of Language & Communication Disorders / Royal College of Speech & Language Therapists*, 38(4), 325–50. doi:10.1080/1368282031000154204
- Meisel, J. (1992). *The acquisition of verb placement: functional categories and V2 phenomena in language acquisition*. Dordrecht: Kluwer Academic Press.
- Mengler, E. D., Hogben, J. H., Michie, P., & Bishop, D. V. M. (2005). Poor frequency discrimination is related to oral language disorder in children: a psychoacoustic study. *Dyslexia*, 11(3), 155–173. doi:10.1002/dys.302
- Mersad, K., & Nazzi, T. (2012). When mommy comes to the rescue of statistics: Infants combine top-down and bottom-up cues to segment speech. *Language Learning and Development*, 8(3), 303–315. doi:10.1080/15475441.2011.609106

- Mervis, C. B., & Bertrand, J. (1997). Developmental relations between cognition and language: Evidence from Williams syndrome. In L. B. Adamson & M. A. Ronski (Eds.), *Communication and language acquisition: Discoveries from atypical development* (Brookes., pp. 75–106). New York.
- Mervis, C. B., Klein-Tasman, B. P., & Mastin, M. E. (2001). Adaptive Behavior of 4- Through 8-Year-Old Children With Williams Syndrome. *American Journal on Mental Retardation*, 106(1), 82–93.
- Mervis, C. B., Morris, C. A., Klein-Tasman, B. P., Bertrand, J., Kwitny, S., Appelbaum, L. G., & Rice, C. E. (2003). Attentional characteristics of infants and toddlers with Williams syndrome during triadic interactions. *Developmental Neuropsychology*, 23(1-2), 243–268. doi:10.1207/S15326942DN231&2_11
- Mervis, C. B., & Robinson, B. F. (2000). Expressive Vocabulary Ability of Toddlers With Williams Syndrome or Down Syndrome: A Comparison. *Developmental Neuropsychology*, 17(1), 111–126. doi:10.1207/S15326942DN1701
- Mervis, C. B., Robinson, B. F., Bertrand, J., Morris, C. A., Klein-Tasman, B. P., & Armstrong, S. C. (2000). The Williams syndrome cognitive profile. *Brain and Cognition*, 44(3), 604–628. doi:10.1006/brcg.2000.1232
- Micale, L., Fusco, C., Augello, B., Napolitano, L. M. R., Dermitzakis, E. T., Meroni, G., ... Reymond, A. (2008). Williams-Beuren syndrome TRIM50 encodes an E3 ubiquitin ligase. *European Journal of Human Genetics*, 16, 1038–1049. doi:10.1038/ejhg.2008.68
- Michelas, A., & D’Imperio, M. (2010). Accentual Phrase Boundaries and Lexical Access in French. In *Speech Prosody* (p. 4). Chicago, Illinois.
- Mody, M., Schwartz, R. G., Gravel, J. S., & Ruben, R. J. (1999). Speech perception and verbal memory in children with and without histories of otitis media. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 42, 1069–1079.
- Molnar, M., Lallier, M., & Carreiras, M. (2014). The amount of language exposure determines nonlinguistic tone grouping biases in infants from a bilingual environment. *Language Learning*, 64(s2), 45–64.
- Moore, B. C. J. (1973). Frequency difference limens for short-duration tones. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 54(3), 610–619.

- 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. doi:10.1097/AUD.0b013e318201c468
- Moore, D. R., Ferguson, M. A., Halliday, L. F., & Riley, A. (2008). Frequency discrimination in children: Perception, learning and attention. *Hearing Research*, 238(1-2), 147–154. doi:10.1016/j.heares.2007.11.013
- Moore, J. K. (2002). Maturation of human auditory cortex: implications for speech perception. *Annals of Otology Rhinology and Laryngology*, 119, 7–10.
- Moore, J. K., & Linthicum, F. H. (2007). The human auditory system: a timeline of development. *International Journal of Audiology*, 46(9), 460–478. doi:10.1080/14992020701383019
- Morgan, J. L., & Demuth, K. (1996a). Signal to Syntax: An overview. In J. Morgan & K. Demuth (Eds.), *Signal to syntax: Bootstrapping from speech to grammar in early acquisition* (Lawrence E., pp. 1–22). Mahwah, N.J.
- Morgan, J. L., & Demuth, K. (1996b). *Signal to syntax: Bootstrapping from speech to grammar in early acquisition. Signal to Syntax.*
- Morgan, J. L., & Newport, E. L. (1981). The role of constituent structure in the induction of an artificial language. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behaviour*, 20, 67–85. doi:10.1016/S0022-5371(81)90312-1
- Morgan, J. L., & Saffran, J. R. (1995). Emerging integration of sequential and suprasegmental information in preverbal speech segmentation. *Child Development*, 66(4), 911–936. doi:10.2307/1131789
- Morris, C. A., Demsey, S. A., Leonard, C. O., Dilts, C., & Blackburn, B. L. (1988). Natural history of Williams syndrome: physical characteristics. *The Journal of Pediatrics*, 113(2), 318–326. doi:10.1016/S0022-3476(88)80272-5
- Morrongiello, B. A., & Trehub, S. E. (1987). Age-related changes in auditory temporal perception. *Journal of Experimental Child Psychology*, 44(3), 413–426.
- Mottron, L., & Burack, J. (2001). Enhanced perceptual functioning in the development of autism. In J. Burack, Charman, Yirmiya, & Zelazo (Eds.), *The development of autism: Perspectives from theory and research* (Erlbaum., pp. 131–148). Mahwah, N.J.

- Mottron, L., Dawson, M., Soulières, 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. doi:10.1007/s10803-005-0040-7
- Mottron, L., Peretz, I., Belleville, S., & Rouleau, N. (1999). Absolute pitch in autism: A case study. *Neurocase*, 5, 485–502.
- Mottron, L., Peretz, I., & Ménard, 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. doi:10.1111/1469-7610.00693
- Nazzi, T., Bertoncini, J., & Mehler, J. (1998). Language Discrimination by Newborns: Toward an Understanding of the Role of Rhythm. *Journal of Experimental Psychology; Human Perception and Performance*, 24(3), 756–766.
- Nazzi, T., Floccia, C., & Bertoncini, J. (1998). Discrimination Neonates of Pitch Contours by Neonates. *Infant Behavior and Development*, 21(4), 779–784.
- Nazzi, T., Gopnik, A., & Karmiloff-Smith, A. (2005). Asynchrony in the cognitive and lexical development of young children with Williams syndrome. *Journal of Child Language*, 32(2), 427–438. doi:10.1017/S0305000904006737
- Nazzi, T., Iakimova, G., Bertoncini, J., Fredonie, S., & Alcantara, C. (2006). Early segmentation of fluent speech by infants acquiring French: Emerging evidence for crosslinguistic differences. *Journal of Memory and Language*, 54(3), 283–299. doi:10.1016/j.jml.2005.10.004
- Nazzi, T., Paterson, S. J., & Karmiloff-Smith, A. (2003). Early Word Segmentation by Infants and Toddlers With Williams Syndrome. *Infancy*, 4(2), 251–271. doi:10.1207/S15327078IN0402_06
- Nazzi, T., & Ramus, F. (2003). Perception and acquisition of linguistic rhythm by infants. *Speech Communication*, 41(1), 233–243. doi:10.1016/S0167-6393(02)00106-1
- Nespor, M., Guasti, M. T., & Christophe, A. (1996). Selecting word order: The rhythmic activation principle. In U. Kleinhenz (Ed.), *Interfaces in phonology* (pp. 1–26). Berlin: Akademie Verlag.
- Nespor, M., Shukla, M., van de Vijver, R., Avesani, C., Schraudolf, H., & Donati, C. (2008). Different Phrasal Prominence Realizations in VO and OV Languages. *Lingue E Linguaggio*, VII(2), 1–29.
- Nespor, M., & Vogel, I. (1986). *Prosodic Phonology*. Dordrecht: Foris.

- New, B., Pallier, C., Brysbaert, M., & Ferrand, L. (2004). Lexique 2: A new French lexical database. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 36(3), 516–524. doi:10.3758/BF03195598
- Newport, E. L. (2002). Critical periods in language development. In L. Nadel (Ed.), *Encyclopedia of Cognitive Science* (pp. 737–740). London: Macmillan Publishers Ltd./Nature Publishing Group. Retrieved from <http://www.bcs.rochester.edu/people/newport/Newport-ECS-A0506.PDF> \n <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/0470018860.s00506/full>
- Nieto del Rincon, P. L. (2008). Autism : Alterations in Auditory Perception. *Reviews in the Neurosciences*, 19, 61–78.
- O'Connor, K. (2012). Auditory processing in autism spectrum disorder: a review. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 36(2), 836–854. doi:10.1016/j.neubiorev.2011.11.008
- O'Riordan, M., & Passetti, F. (2006). Discrimination in Autism Within Different Sensory Modalities. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 36(5), 665–675. doi:10.1007/s10803-006-0106-1
- Olsho, L. W. (1984). Infant frequency discrimination. *Infant Behavior and Development*, 7(1), 27–35. doi:10.1016/S0163-6383(84)80020-X
- Olsho, L. W., Koch, E. G., & Halpin, C. F. (1987). Level and age effects in infant frequency discrimination. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 82(2), 454–464. doi:10.1121/1.395446
- Organisation Mondiale de la Santé. (2000). *Criteres de la CIM-10 Pour l'Autisme Infantile*. Paris.
- Ornitz, E. M. (1974). The modulation of sensory input and motor output in autistic children. *Journal of Autism and Childhood Schizophrenia*, 4(3), 197–215. doi:10.1007/BF02115226
- Öztuna, D., Elhan, A. H., & Tüccar, E. (2006). Investigation of four different normality tests in terms of type 1 error rate and power under different distributions. *Turkish Journal of Medical Sciences*, 36(3), 171–176.
- Patel, A. D. (2008). *Music, Language, and the Brain* (Oxford Uni.). New York.
- Patel, A. D. (2010). Music, biological evolution, and the brain. In M. Bailar (Ed.), *Emerging Disciplines* (Rice Unive., pp. 91–144). Houston, TX.

- Patel, A. D., Gibson, E., Ratner, J., Besson, M., & Holcomb, P. J. (1998). Processing syntactic relations in language and music: an event-related potential study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10(6), 717–733. doi:10.1162/089892998563121
- Paterson, S. J. (2000). *The development of language and number understanding in Williams Syndrome and Down's Syndrome: Evidence from the infant and mature phenotypes*. University College London.
- Paterson, S. J., Brown, J. H., Gsödl, M. K., Johnson, M. H., & Karmiloff-Smith, A. (1999). Cognitive modularity and genetic disorders. *Science*, 286, 2355–2358. doi:10.1126/science.286.5448.2355
- Paul, R., Augustyn, A., Klin, A., & Volkmar, F. R. (2005). Perception and Production of Prosody by Speakers with Autism Spectrum Disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 35(2), 205–220. doi:10.1007/s10803-004-1999-1
- Peppé, S., McCann, J., Gibbon, F., O'Hare, A., & Rutherford, M. (2007). Receptive and Expressive Prosodic Ability in Children With High-Functioning Autism. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 50, 1015–1028.
- Piaget, J. (1963). Langue et opérations intellectuelles. In Collectif (Ed.), *Problèmes de psycholinguistique*. Paris: PUF.
- Pineau, A., & Beaufils, F. (1988). Acquisition de la notion de “pareil-pas pareil” chez l'enfant d'âge préscolaire. *L'année Psychologique*, 88(3), 343–358.
- Pinker, S. (1984). *Language Learnability and Language Development* (Harvard Un.). Cambridge.
- Pinker, S. (1987). The Bootstrapping Problem in Language Acquisition. In B. Mac-Whinney (Ed.), *Mechanisms of language acquisition* (Lawrence E., pp. 399–441). Hillsdale, NJ.
- Pinker, S. (1999). Out of the Minds of Babes. *Science*, 283(5398), 40–41. doi:10.1126/science.283.5398.40
- Pinker, S. (2013). *L'instinct du langage* (Odile Jacob.). Paris: Traduit de l'anglais (Etats-Unis) par Marie-France Desjeux.
- 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 and Psychiatry, and Allied Disciplines*, 40(5), 733–742. doi:10.1111/1469-7610.00489

- Plesa Skwerer, D., Schofield, C., Verbalis, A., Faja, S., & Tager-Flusberg, H. (2007). Receptive prosody in adolescents and adults with Williams syndrome. *Language and Cognitive Processes*, 22(2), 247–271. doi:10.1080/01690960600632671
- Porter, M. A., Coltheart, M., & Langdon, R. (2007). The neuropsychological basis of hypersociability in Williams and Down syndrome. *Neuropsychologia*, 45(12), 2839–2849. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2007.05.006
- Pring, L., Woolf, K., & Tadić, V. (2008). Melody and pitch processing in five musical savants with congenital blindness. *Perception*, 37(2), 290–307.
- Prins, N., & Kingdom, F. A. A. (2009). Palamades: Matlab routines for analyzing psychophysical data. Retrieved from <http://www.palamedestoolbox.org>
- Prins, N., & Kingdom, F. A. A. (2010). *Psychophysics: A Practical Introduction*. Academic Press.
- Pujol, R., Lavigne-Rebillard, M., & Lenoir, M. (1997). Development of sensory and neural structures in the mammalian cochlea. In E. W. Rubel, A. N. Popper, & R. R. Fay (Eds.), *Development of the Auditory System* (Springer H., pp. 146–192). New York.
- Ramus, F., Nespor, M., & Mehler, J. (1999). Correlates of linguistic rhythm in the speech signal. *Cognition*, 73(3), 265–292. doi:10.1016/S0010-0277(99)00058-X
- Ramus, F., Pallier, C., Dupoux, E., & Dehaene-Lambertz, G. (2002). Language discrimination by newborns : Teasing apart phonotactic , rhythmic , and intonational cues. *Annual Review of Language Acquisition*, 2, 1–14. doi:10.1075/arla.2.05ram
- Reilly, J. S. (1992). How to Tell a Good Story: The Intersection of Language and Affect in Children’s Narratives. *Journal of Narrative and Life History*, 2(4), 355–377.
- Reilly, J. S., Klima, E. S., & Bellugi, U. (1990). Once more with feeling: Affect and language in atypical populations. In D. Cicchetti (Ed.), *Development and Psychopathology* (Cambridge). Cambridge, MA. doi:10.1017/S0954579400005782
- Richardson, U., Thomson, J. M., Scott, S. K., & Goswami, U. (2004). Auditory processing skills and phonological representation in dyslexic children. *Dyslexia*, 10(3), 215–33. doi:10.1002/dys.276
- Rinehart, N. J., Bradshaw, J. L., Moss, S. A., Brereton, A. V., & Tonge, B. J. (2001). A deficit in shifting attention present in high-functioning autism but not Asperger’s disorder. *Autism: The International Journal of Research and Practice*, 5(1), 67–80. doi:10.1177/1362361301005001007

- Robinson, D. W., & Sutton, G. J. (1979). Age Effect in Hearing - A Comparative Analysis of Pulished Threshold Data. *Audiology*, 18, 320–324.
- Rondal, J. A., & Seron, X. (2000). *Troubles du langage : Bases théoriques, diagnostic et rééducation*. (J. A. Rondal & X. Seron, Eds.) (Mardaga.). Liège.
- Saffran, J. R., Newport, E. L., & Aslin, R. N. (1996). Word segmentation: The role of distributional cues. *Journal of Memory and Language*, 35(4), 606–621.
- Saffran, J. R., Werker, J. F., & Werner, L. A. (2006). The Infant's Auditory World: Hearing, Speech, and the Beginnings of Language. In D. Kuhn & R. S. Siegler (Eds.), *Handbook of Child Psychology, Vol. 2, Cognition, Perception and Language (6th edition)* (Wiley., pp. 58–108). New York. doi:10.1002/9780470147658.chpsy0202
- Salomäki, S., Tuominen, J., Arstila, V., Noreika, V., Härmälä, A., & Falter, C. M. (2012). *Time perception in developmental disorders: Asperger's syndrome*. Turku.
- Samson, F., Hyde, K. L., Bertone, A., Soulières, I., Mendrek, A., Ahad, P., ... Zeffiro, T. A. (2011). Atypical processing of auditory temporal complexity in autistics. *Neuropsychologia*, 49(3), 546–555. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2010.12.033
- 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 and Developmental Disorders*, 36(1), 65–76. doi:10.1007/s10803-005-0043-4
- Schönweiler, R., Ptok, M., & Radü, H. J. (1998). A cross-sectional study of speech- and language-abilities of children with normal hearing, mild fluctuating conductive hearing loss, or moderate to profound sensoneurinal hearing loss. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 44(3), 251–258. doi:10.1016/S0165-5876(98)00075-5
- Sebastian-Galles, N. (n.d.). Becoming bilingual: Are there different learning pathways? In J. W. Schwieter (Ed.), *The Cambridge Handbook of Bilingual Processing*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Shriberg, L. D., Friel-Patti, S., Flipsen, P., & Brown, R. L. (2000). Otitis Media, Fluctuant Hearing Loss, and Speech-Language Outcomes: A Preliminary Structural Equation Model. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 43, 100–120.
- Shriberg, L. D., Kwiatkowski, J., & Rasmussen, C. (1990). *The prosody-Voice Screening Profile* (Communicat.). Tucson, AZ.
- Shriberg, L. D., Paul, R., McSweeny, J. L., Klin, A., Cohen, D. J., & Volkmar, F. R. (2001). Speech and prosody characteristics of adolescents and adults with high-functioning autism and

- Asperger syndrome. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 44(5), 1097–1115. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11708530>
- Shukla, M., & Nespor, M. (2009). Rhythmic patterns cue word order., 174–188.
- Singer Harris, N. G., Bellugi, U., Bates, E., Jones, W., & Rossen, M. (1997). Contrasting profiles of language development in children with williams and down syndromes. *Developmental Neuropsychology*, 13(Special Issue: “Origins of language disorders”), 345–370. doi:10.1080/87565649709540683
- Sinnott, J. M., & Aslin, R. N. (1985). Frequency and intensity discrimination in human infants and adults. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 78(6), 1986–92. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/4078175>
- Skinner, B. (1957). *Verbal Behavior* (Appleton-C.). New York.
- Skoruppa, K., Pons, F., Christophe, A., Bosh, L., Dupoux, E., Sebastián-Gallés, N., ... Peperkamp, S. (2009). Language-specific stress perception by 9-month-old French and Spanish infants. *Developmental Science*, 12, 914–919.
- Slevc, L. R., & Miyake, A. (2006). Individual differences in second-language proficiency: Does musical ability matter? *Psychological Science*, 17(8), 675–681. doi:10.1111/j.1467-9280.2006.01765.x
- Slobin, D. I. (1985). Cross-linguistic evidence for the language-making capacity. In D. Slobin (Ed.), *The crosslinguistic study of language acquisition* (Lawrence E., Vol. 2, pp. 1157–1256). Englewood Cliffs, NJ.
- Snedeker, J., & Huang, Y. T. (n.d.). Sentence Processing. In E. L. Bavin & L. R. Naigles (Eds.), *The Handbook of Child Language, 2nd Edition*. Cambridge University Press.
- Spelke, E. S. (2008). La théorie du “Core Knowledge.” *L’année Psychologique*, 108, 721–756.
- Stanutz, S. (2009). *Pitch Discrimination and Melodic Memory in Children with Autism*. McGill University.
- Stojanovik, V. (2010). Understanding and production of prosody in children with Williams syndrome: A developmental trajectory approach. *Journal of Neurolinguistics*, 23(2), 112–126. doi:10.1016/j.jneuroling.2009.11.001
- Stojanovik, V., Setter, J., & Ewijk, L. Van. (2007). Intonation Abilities of Children With Williams Syndrome : A Preliminary Investigation. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 50, 1606–1617.

- Strømme, P., Bjørnstad, P. G., & Ramstad, K. (2002). Prevalence Estimation of Williams Syndrome. *Journal of Child Neurology*, 17(4), 269–271. doi:10.1177/088307380201700406
- Sutcliffe, P., & Bishop, D. (2005). Psychophysical design influences frequency discrimination performance in young children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 91(3), 249–270. doi:10.1016/j.jecp.2005.03.004
- Takeuchi, A. H., & Hulse, S. H. (1993). Absolute pitch. *Psychological Bulletin*, 113(2), 345–361. doi:PMID: 8451339 [PubMed - indexed for MEDLINE]
- Tarquinio, N., Zelazo, P. R., & Weiss, M. J. (1990). Recovery of neonatal head turning to decreased sound pressure level. *Developmental Psychology*, 26(5), 752–758. doi:10.1037/0012-1649.26.5.752
- Teele, D. W., Klein, J. O., Chase, C., Menyuk, P., Rosner, B. A., & Greater Boston Otitis Media Study Group. (1990). Otitis media in infancy and intellectual ability, school achievement, speech, and language at age 7 years. *Journal of Infectious Diseases*, 162, 685–694.
- Teghtsoonian, R. (1971). On the exponents in Stevens' law and the constant in Ekman's law. *Psychological Review*, 78(1), 71–80. doi:10.1037/h0030300
- Thompson, N. C., Cranford, J. L., & Hoyer, E. (1999). Brief-Tone Frequency Discrimination by Children. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 42, 1061–1068.
- Tirovolas, A. K., & Levitin, D. J. (2011). Music Perception and Cognition Research from 1983 to 2010: A Categorical and Bibliometric Analysis of Empirical Articles in Music Perception. *Music Perception*, 29(1), 23–36. Retrieved from http://daniellevitin.com/levitinlab/articles/2011-Torovolass_Levitin-Music_perception_and_cognition_research.pdf
- Tomasello, M. (2000). Do young children have adult syntactic competence? *Cognition*, 74(3), 209–253. doi:10.1016/S0010-0277(99)00069-4
- Trainor, L. J., & Adams, B. (2000). Infants' and adults' use of duration and intensity cues in the segmentation of tones patterns. *Perception & Psychophysics*, 62(2), 333–40.
- Tramo, M. J., Shah, G. D., & Braida, L. D. (2002). Functional role of auditory cortex in frequency processing and pitch perception. *Journal of Neurophysiology*, 87(1), 122–139. doi:10.1152/jn.00104.1999

- Udwin, O., & Yule, W. (1990). Expressive language of children with Williams syndrome. *American Journal of Medical Genetics*, 6(Suppl.), 108–114.
- Udwin, O., Yule, W., & Martin, N. (1987). Cognitive abilities and behavioural characteristics of children with idiopathic infantile hypercalcaemia. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 28(2), 297–309.
- Vaissière, J. (2006). *La phonétique* (Que sais-j.). Paris: PUF.
- Valeri, G., & Speranza, M. (2009). Modèles neuropsychologiques dans l'autisme et les troubles envahissants du développement. *Développements*, 1(1), 34–48. doi:10.3917/devel.001.0034
- Van Borsel, J., Curfs, L. M., & Fryns, J. P. (1997). Hyperacusis in Williams syndrome: A sample survey study. In *European Meeting on Psychosocial Aspects of Genetics* (Vol. 8, pp. 121–126). Rome, Italy.
- Vygotsky, L. S. (1962). *Thought and Language*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Walker, K. M. M., Hall, S. E., Klein, R. M., & Phillips, D. P. (2006). Development of perceptual correlates of reading performance. *Brain Research*, 1124(1), 126–141. doi:10.1016/j.brainres.2006.09.080
- Wallon, H. (1934). *Les origines du caractère chez l'enfant*. Paris: PUF.
- Wallon, H. (1982). *La vie mentale* (Editions S.). Paris.
- Wechsler, D. (2004). *WPPSI-III, Echelle d'intelligence de Wechsler pour la période préscolaire et primaire (3e édition)* (ECPA.). Paris.
- Wechsler, D. (2006). *WISC-IV, Echelle d'intelligence de Wechsler pour enfants (4e édition)* (ECPA.). Paris.
- Wechsler, D. (2011). *WAIS-IV, Echelle d'intelligence de Wechsler pour adultes (4e édition)* (ECPA.). Paris.
- Weissenborn, J., Höhle, B., Kiefer, D., & Cavar, D. (1996). Children's sensitivity to word-order violations in german: evidence for very early parameter-setting. In *Boston University Conference on Language Development* (Vol. 22). Boston: Cascadilla Press.
- Werker, J. F., & Byers-Heinlein, K. (2008). Bilingualism in infancy: first steps in perception and comprehension. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(4), 144–151. doi:10.1016/j.tics.2008.01.008

- Werker, J. F., Byers-Heinlein, K., & Fennell, C. T. (2009). Bilingual beginnings to learning words. *Philosophical Transactions of the Royal Society: Biological Sciences*, 364, 3649–3663. doi:10.1098/rstb.2009.0105
- Werker, J. F., & Hensch, T. K. (2015). Critical Periods in Speech Perception: New Directions. *Annual Review of Psychology*, 66, 173–196. doi:10.1146/annurev-psych-010814-015104
- Werner, L. A. (2000). Human Auditory Development. In *Auditory Development*.
- Williams, J. C. P., Barratt-Boyes, B. G., & Lowe, J. B. (1961). Supravalvular Aortic Stenosis. *Circulation*, XXIV, 1311–1318. doi:10.1161/01.CIR.24.6.1311
- Woodrow, H. (1951). Time perception. In S. Stevens (Ed.), *Handbook of experimental psychology* (Wiley., pp. 1224–1236). New York.
- Yoshida, K. A., Iversen, J. R., Patel, A. D., Mazuka, R., Nito, H., Gervain, J., & Werker, J. F. (2010). The development of perceptual grouping biases in infancy: a Japanese-English cross-linguistic study. *Cognition*, 115(2), 356–61. doi:10.1016/j.cognition.2010.01.005
- Zhou, X., & Raiford, S. E. (2011). *Using the WASI-II with the WISC-IV: Substituting WASI-II Subtest Scores When Deriving WISC-IV Composite Scores*.

10. ANNEXES

Annexe 1 : Répartition détaillée des groupes d'âge chez les participants TSA

Annexe 2 : Répartition détaillée des groupes d'âge chez les participants SW

Annexe 3 : Questionnaire d'audition, de langage, et d'expérience musicale

Annexe 4 : Consentement de participation et fiche de renseignements

Annexe 1 : Répartition détaillées des groupes d'âge chez les participants TSA, selon les trois groupes définis (syndrome d'Asperger [A], autisme verbal [AV] et autisme non verbal [ANV])

		Nombre de participants		
		Garçons	Filles	Total
Syndrome d'Asperger	Enfants d'âges préscolaires (3 – 5 ans)	1	1	2
	Enfants d'âges scolaires (6 – 10 ans)	11	2	13
	Pré-adolescents (11 – 14 ans)	9	0	9
	Adolescents (15 – 17 ans)	5	1	6
	Jeunes adultes (18 – 30 ans)	19	1	20
	Adultes (31 – 60 ans)	0	9	9
		45	14	59
Autisme verbal	Enfants d'âges préscolaires (3 – 5 ans)	7	2	9
	Enfants d'âges scolaires (6 – 10 ans)	38	7	45
	Pré-adolescents (11 – 14 ans)	6	2	8
	Adolescents (15 – 17 ans)	4	1	5
	Jeunes adultes (18 – 30 ans)	5	1	6
	Adultes (31 – 60 ans)	1	3	4
		61	16	77

Autisme non verbal	Enfants d'âges préscolaires (3 – 5 ans)	2	1	3
	Enfants d'âges scolaires (6 – 10 ans)	14	2	16
	Pré-adolescents (11 – 14 ans)	4	0	4
	Adolescents (15 – 17 ans)	2	0	2
	Jeunes adultes (18 – 30 ans)	5	0	5
	Adultes (31 – 60 ans)	4	1	5
		31	4	35
TOTAL		137	34	171

Annexe 2 : Répartition détaillées des groupes d'âge chez les participants SW

		Nombre de participants		
		Garçons	Filles	Total
Syndrome de Williams	Enfants d'âges préscolaires (3 – 5 ans)	1	1	2
	Enfants d'âges scolaires (6 – 10 ans)	6	0	6
	Pré-adolescents (11 – 14 ans)	5	1	6
	Adolescents (15 – 17 ans)	0	0	0
	Jeunes adultes (18 – 30 ans)	2	1	3
	Adultes (31 – 60 ans)	0	0	0
		13	3	17

Annexe 3 : Questionnaire d'audition, de langage, et d'expérience musicale (version enfant)

Participant : _____ Code sujet : _____

Date de naissance : _____ Âge : _____

Questionnaire d'audition, de langage et d'expérience musicale

Complété le : _____ Par : ☐ Mère ☐ Père ☐ Autre : _____

Audition

1. Combien d'otites a eu votre enfant depuis sa naissance (approximativement) ? _____
- a. Combien au cours des 6 derniers mois ? _____
- b. Votre enfant a-t-il (ou a-t-il eu) des tubes / yoyos / diabolos dans une/ses oreille(s) ?
☐ **Oui** ☐ **Non** Si OUI, à quel(s) âge(s) ? _____
- c. Votre enfant a-t-il déjà passé un examen auditif (audiogramme, PEA, otoscopie...) ?
☐ **Oui** ☐ **Non** Si OUI, quels étaient les résultats ? _____
- d. Y-a-t'il des problèmes auditifs dans la famille ? ☐ **Oui** ☐ **Non**
Si OUI, lesquels ? _____

Sensibilité aux sons

2. Votre enfant a-t-il déjà montré une certaine sensibilité à l'égard de sons particuliers (comme par exemple le bruit d'un aspirateur) ? ☐ **Oui** ☐ **Non**

Si OUI, merci de répondre aux questions a, b, c et d.

- a. Quel âge avait votre enfant lorsque vous avez remarqué sa sensibilité aux sons ? _____

- b. De manière générale, ces sons étaient (selon vous) :

- ☐ Plus calmes que la voix lors d'une conversation.
☐ A peu près aussi calmes que la voix lors d'une conversation.
☐ Plus forts qu'une conversation mais pas désagréables/douloureux à entendre.
☐ Désagréables et douloureux à entendre.

- c. Merci de décrire quelques sons auxquels votre enfant est particulièrement sensible :

d. Diriez-vous que la sensibilité aux sons de votre enfant a évolué avec l'âge ?

- ☐ **Non**, elle est restée identique.
- ☐ **Oui**, elle s'est amplifiée (mon enfant est devenu encore plus sensible aux sons).
- ☐ **Oui**, elle a diminué (mon enfant est devenu moins sensible aux sons, mais reste toujours plus sensible que les autres enfants).
- ☐ **Oui**, elle a disparu (mon enfant n'est pas plus sensible aux sons que les autres enfants).

e. Merci de cocher la case décrivant le mieux la fréquence à laquelle les comportements suivants sont associés à votre enfant :

	Jamais	Rarement	Occasionnellement	Fréquemment	Toujours
Mon enfant fredonne, siffle, chante ou fait d'autres bruits.					
Mon enfant sursaute facilement lorsqu'il entend un son inattendu ou fort (par exemple, un chien qui aboie ou le bruit d'un aspirateur).					
Mon enfant a du mal à suivre ce que les personnes disent lorsqu'elles parlent vite ou lorsqu'elles parlent de choses inconnues.					
Mon enfant quitte la pièce lorsque les autres regardent la TV ou leur demande de l'éteindre.					
Mon enfant est distrait s'il y a beaucoup de bruit autour de lui.					
Mon enfant ne s'aperçoit pas lorsqu'on prononce son nom.					
Mon enfant utilise des stratégies pour diminuer le son (par exemple, il ferme la porte, se couvre les oreilles, porte des boules-quiètes...).					
Mon enfant reste à l'écart des situations bruyantes.					
Mon enfant aime assister à des événements avec beaucoup de musique.					
Mon enfant demande aux personnes de répéter lorsqu'elles s'adressent à lui.					
Mon enfant trouve qu'il est difficile de travailler dans un environnement bruyant.					

Expérience musicale

3. Votre enfant a-t-il suivi des cours de musique ou participé à des groupes de musique (exemples : orchestre, chorale, cours d'éveil musical...) ?

☐ **Oui** ☐ **Non**

Si OUI, merci de répondre aux questions 4 et 5.

4. Quel(s) instrument(s) / voix ?	Âge de début	Âge de fin	Type de leçon	
			Privée	Groupe / Classe

5. Pendant combien d'années votre enfant a-t-il suivi ces cours ? (*nota bene : si votre enfant a pratiqué plus d'un instrument de musique durant une même année, cela comptera pour une seule année*)

- ☐ moins de 1 an
☐ entre 1 et 2 ans
☐ entre 3 et 4 ans
☐ 5 ans et plus

6. Votre enfant a-t-il été identifié par un professionnel comme ayant l'oreille absolue ?

☐ **Oui** ☐ **Non**

Exposition à la musique

7. Combien de temps votre enfant passe-t-il à écouter de la musique (approximativement) ?

- ☐ jamais
☐ maximum 30 minutes / jour
☐ entre 30 minutes et 1 heure / jour
☐ entre 1 et 2 heures / jour
☐ plus de 2 heures / jour

Exposition aux langues

8. Quelle est la langue maternelle de votre enfant ? ☐ Français ☐ autre : _____

Quelle est la langue maternelle de la mère ? ☐ Français ☐ autre : _____

Quelle est la langue maternelle du père ? ☐ Français ☐ autre : _____

9. Merci d'énumérer toutes les langues (y compris la langue maternelle) que votre enfant connaît, **par ordre de dominance**.

- a. _____
- b. _____
- c. _____
- d. _____
- e. _____

10. A quel âge et pendant combien de temps votre enfant a-t-il appris ces langues ?

Langue(s)	Age	Nombre d'années d'apprentissage

11. Y-a-t'il des pathologies du langage dans la famille ?

☐ **Oui** ☐ **Non**

Si OUI, quelle est la nature des problèmes ? _____

Développement du langage

12. A quel âge votre enfant a-t-il prononcé ses premiers mots ? _____

A quel âge votre enfant a-t-il prononcé ses premières phrases ? _____

Avez-vous remarqué un arrêt ou un déclin dans le développement de son langage oral ?

☐ **Oui** ☐ **Non**

Si OUI, à quel âge ? _____

Annexe 4 : Consentement de participation et fiche de renseignements (version mineurs)



UNIVERSITÉ PARIS DESCARTES
UFR BIOMÉDICALE DES SAINTS PÈRES
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
LABORATOIRE PSYCHOLOGIE DE LA PERCEPTION
(UMR 8242)



CONSENTEMENT DE PARTICIPATION

Pour une recherche sans bénéfice individuel direct

(Formulaire de consentement concernant les représentants légaux d'un sujet mineur)

Nous soussignés : _____

Déclarons accepter que l'enfant : _____

Dont nous avons la charge légale, participe à la recherche biomédicale intitulée : Perception du langage chez les personnes présentant un trouble du spectre autistique : le rôle de la prosodie.

Menée par : Carline Bernard, doctorante, sous la responsabilité de : Judit Gervain, chargée de recherche.

Les informations recueillies font l'objet d'un traitement informatique destiné à étudier la perception des indices acoustiques du langage, dans les conditions précisées ci-dessous et pour laquelle le Comité d'Evaluation des projets de Recherche En Santé (CERES) a émis un avis favorable.

Nous avons bien reçu les informations concernant la recherche.

Il nous a été précisé que :

- Conformément à la loi Informatique et Libertés du 6 janvier 1978 modifiée en 2004, nous bénéficions d'un droit d'accès et de rectification aux informations qui nous concernent, que nous pouvons exercer en nous adressant à : lpp@psychologie.parisdescartes.fr
- Nous sommes libres d'accepter ou de refuser ainsi que d'arrêter à tout moment la participation de l'enfant dont nous avons la charge.
- Les données qui concernent l'enfant dont nous avons la charge resteront strictement confidentielles et à usage strictement interne au Laboratoire.
- La publication des résultats ne comportera aucun résultat individuel identifiant.
- Nous pourrions à tout moment demander des informations aux responsables de la recherche.
- Nous pouvons être tenus au courant des résultats globaux de la recherche en consultant le site : <http://recherche.parisdescartes.fr/LBB>
- Cette recherche est sans bénéfice individuel direct pour les personnes qui y participent.
- Notre consentement ne décharge pas les organisateurs de la recherche de leurs responsabilités.
- Nous conservons tous nos droits garantis par la loi.

Fait à _____, le _____

Signature du représentant légal :

Nom et signature de l'investigateur :

Accepteriez-vous d'être recontacté(e) dans le futur par notre Laboratoire ?

☐ OUI

☐ NON

Université Paris Descartes, 45 rue des Saints Pères, 75270 Paris cedex 06, Tel : 01 42 86 42 30

Contact : carline.bernard@parisdescartes.fr et judit.gervain@parisdescartes.fr

Code sujet : _____

FICHE DE RENSEIGNEMENTS

A remplir par le Laboratoire

Date de l'observation : _____ Groupe/condition : ☐ TD ☐ ASD

Nom du responsable : *GERVAIN Judit* Nom de l'étudiant : *BERNARD Carline*

NOM de famille..... Prénom (de l'enfant).....

Date de naissance..... Âge.....

Adresse.....

Téléphone fixe..... Téléphone portable.....

Mail.....

Naissance : A terme ? ☐ OUI ☐ NON (nombre de semaines d'aménorrhée :)

Poids : Taille : Périmètre crânien :

Problèmes particuliers (naissance et/ou accouchement) :

Environnement de l'enfant :

Scolarisation : ☐ OUI ☐ NON Classe :

Aide particulière : ☐ OUI ☐ NON

Si oui, précisez SVP :

Fratrie :

Prénom	Sexe	Date de naissance	Problème particulier

Latéralité : ☐ Droitier ☐ Gaucher ☐ Ambidextre

Concernant le diagnostic :

Intitulé :

Quand a-t-il été posé ? Âge de l'enfant :

Lieu (structure et ville) :

Matériel utilisé :

11. ARTICLE PUBLIE



Prosodic cues to word order: what level of representation?

Carline Bernard¹ and Judit Gervain^{1,2} *

¹ Laboratoire Psychologie de la Perception (UMR 8158), Université Paris Descartes, Sorbonne Paris Cité, Paris, France

² Laboratoire Psychologie de la Perception (UMR 8158), CNRS, Paris, France

Edited by:

Claudia Männel, Max Planck Institute for Human Cognitive and Brain Sciences, Germany

Reviewed by:

Mohinish Shukla, University of Massachusetts Boston, USA

Jean-Remy Hochmann, Harvard University, USA

*Correspondence:

Judit Gervain, Laboratoire Psychologie de la Perception (UMR 8158), CNRS & Université Paris Descartes, 45 rue des Saints Pères, 75006 Paris, France.
e-mail: judit.gervain@parisdescartes.fr

Within language, systematic correlations exist between syntactic structure and prosody. Prosodic prominence, for instance, falls on the complement and not the head of syntactic phrases, and its realization depends on the phrasal position of the prominent element. Thus, in Japanese, a functor-final language, prominence is phrase-initial, and realized as increased pitch (^ *Tōkyō ni* “Tokyo to”), whereas in French, English, or Italian, functor-initial languages, it manifests itself as phrase-final lengthening (to *Rome*). Prosody is readily available in the linguistic signal even to the youngest infants. It has, therefore, been proposed that young learners might be able to exploit its correlations with syntax to bootstrap language structure. In this study, we tested this hypothesis, investigating how 8-month-old monolingual French infants processed an artificial grammar manipulating the relative position of prosodic prominence and word frequency. In Condition 1, we created a speech stream in which the two cues, prosody and frequency, were aligned, frequent words being prosodically non-prominent and infrequent ones being prominent, as is the case in natural language (functors are prosodically minimal compared to content words). In Condition 2, the two cues were misaligned, with frequent words carrying prosodic prominence, unlike in natural language. After familiarization with the aligned or the misaligned stream in a headturn preference procedure, we tested infants’ preference for test items having a frequent word initial or a frequent word final word order. We found that infants’ familiarized with the aligned stream showed the expected preference for the frequent word initial test items, mimicking the functor-initial word order of French. Infants in the misaligned condition showed no preference. These results suggest that infants are able to use word frequency and prosody as early cues to word order and they integrate them into a coherent representation.

Keywords: prosodic bootstrapping, word order, French, language acquisition

INTRODUCTION

The languages of the world show considerable variation in word order. In Japanese, for instance, the object precedes the verb [*ringo-wo taberu* (apple.acc¹ eat) “eat an apple”] and postpositions follow their nouns [*Tokyo kara* (Tokyo from) “from Tokyo”] etc. In French, by contrast, the object follows the verb [*manger une pomme* (eat.inf² an apple) “eat an apple”] and prepositions precede their nouns [*de Paris* (from Paris) “from Paris”]. As the examples suggest, this variation is not random: most languages conform to a basic word order type, which is usually characterized by the relative order of the object and the verb or by the typical position of function words within phrases (Greenberg, 1978; Dryer, 1992). Thus, Japanese is an OV or functor-final language, while French is VO or functor-initial. Crucially, the order of words in several phrase types correlates with that of the object and the verb. In OV languages, adpositions follow nouns, subordinate clauses precede the main verb and possessors precede the possessed. The opposite orders are observed in VO languages.

This knowledge is fundamental to language use, as it allows the efficient production and comprehension of multiword utterances. Indeed, infants know the basic word order of their mother tongue from their earliest multiword productions (Brown, 1973) and perceptually recognize word orders typical of their native language even earlier (e.g., Weissenborn et al., 1996; Höhle et al., 2001; Gervain et al., 2008). Importantly, the early mastery of word order might have a facilitatory effect on language acquisition, allowing young infants to correctly assign a grammatical function to novel structures or words they encounter.

How is word order learned? The purpose of the current paper is to contribute to a growing literature on the bootstrapping account of word order acquisition (Mazuka, 1996; Morgan and Demuth, 1996; Weissenborn et al., 1996; Gervain et al., 2008; Shukla and Nespor, 2010). Bootstrapping is a learning mechanism whereby the learner infers abstract, structural, perceptually unavailable properties of the target language on the basis of perceptually available cues in the input, which are correlated with the former (Morgan and Demuth, 1996). Under this view, the acquisition of a rudimentary, but already abstract representation of basic word order starts very early on, even before, and independently of the

¹ acc: accusative case

² inf: infinitive

acquisition of a sizeable lexicon, on the basis of perceptually available cues such as word frequency and prosody, which correlate with word order. This bootstrapping account belongs to a larger family of theories on language development that assume language acquisition to rely on abstract structural representations from early on (Pinker, 1984; Gleitman et al., 1988; Fisher et al., 1991). These accounts contrast with the lexicalist view (Akhtar and Tomasello, 1997; Tomasello, 2000), according to which the knowledge of word order is initially linked to specific lexical items and becomes abstract only later, possibly only in the mature grammar.

Several recent studies have provided evidence that prelexical infants possess at least a simple representation of the basic word order of their native language. Specifically, two cues have been identified that infants might be able to exploit as indicators of the word order type of their mother tongue: word frequency and phrasal prosody.

Frequency-based word order bootstrapping relies on the observation that natural languages have two general word classes (Fukui, 1986; Abney, 1987): function words (articles: *the, a*, adpositions: *in, on, to*, pronouns: *he, she, they* etc.), indicating the morphosyntactic structure of sentences, and content words, carrying lexical meaning. Function words are typically more frequent than content words. Indeed, the 30–50 most frequent words are usually functors in all of the languages that have been studied in both adult- and child-directed speech (Kucera and Francis, 1967; Morgan et al., 1996; Gervain et al., 2008). Further, these frequent words often occupy utterance-initial and utterance-final positions, known to be perceptually salient and recognized even by young infants (Aslin et al., 1996). Importantly, the specific position they occupy correlates with word order: in OV languages, functors tend to appear phrase-finally, whereas they are phrase-initial in VO languages (Gervain et al., 2008). Thus tracking the most frequent words and their positions relative to salient utterance boundaries provides a cue to word order. It has been shown that 8-month-old monolingual Japanese and Italian infants are able to use this cue in an artificial grammar learning task to bootstrap the opposite word orders that characterizes their native languages (OV for Japanese, VO for Italian). In this study, infants were familiarized with an artificial grammar consisting of strictly alternating frequent and infrequent nonce words. As no phase-information is given (the beginning and the end of the stream are ramped in amplitude), the structure of this grammar is ambiguous between a frequent word initial (FI) and a frequent word final (FF) parse. In the test phase, infants are tested on their preference for FI and FF sequences. As predicted, Italian infants preferred the FI items, while Japanese babies looked longer at the FF items, reflecting the typical word order of these two languages. It is important to note that both FI and FF sequences were taken from the familiarization stream, so they were both familiar to infants. The only difference between the two groups that could explain the observed differences in their preferences during test was the opposite word orders of their mother tongues. This study thus shows that 8-month-old infants already have an expectation about the word order of their native language in terms of the relative position of frequent and infrequent words, and use it to parse a novel stream.

However, word frequency is not the only cue to word order (Morgan et al., 1996) and under some circumstances, it might not

even be sufficient on its own. If an infant is exposed to a mixed language like German or Dutch, in which both OV and VO structures appear (German: (*weil ich*) *Papa sehe* because I Daddy see “because I see Daddy” and (*denn ich*) *sehe Papa* because I Daddy see “because I see Daddy,” Dutch: *op de trap* up the stairs “up the stairs” & *de trap op*), or to two languages with opposite orders, e.g., Japanese and Italian, then both FI and FF orders are found in the input she receives. Another well-established cue to word order, which can be used in combination with word frequency, is phrasal prosody (for a recent formulation of the proposal, see Shukla and Nespor, 2010). The prominence typically falls on the content word, i.e., the infrequent element, in prosodic phrases, hence its position correlates with word order. It is usually phrase-initial in OV or functor-final languages and phrase-final in VO or functor-initial languages (Nespor and Vogel, 1986). Even more importantly, the acoustic realization of phrasal prominence differs in these two positions, i.e., it correlates with word order. In OV languages, phrasal prominence is typically realized as increased pitch and/or intensity on the stressed vowel of the prominent word, so phrases tend to have a high-low or strong-weak pattern, whereas in VO languages, prominence is realized as increased duration on the stressed vowel of the prominent element, so phrases shown a short-long pattern (Nespor et al., 2008). Interestingly, this has been shown to hold true not only across languages, but also within a language, e.g., in the OV and VO phrases of German (Nespor et al., 2008). This differential acoustic realization means that there is a low-level, perceptually available cue in the input signal that correlates with word order. Further, it has been argued that these different acoustic features, i.e., pitch/intensity vs. duration, trigger different perceptual groupings. Known as the iambic-trochaic law (ITL, Hayes, 1995) and originally described for non-linguistic auditory stimuli (Bolton, 1894; Woodrow, 1951), this principle argues that elements contrasting in intensity or pitch are naturally perceived as having initial prominence, i.e., trochaic grouping, while elements contrasting in duration are perceived as prominence-final, i.e., iambic. This principle together with the different acoustic realization of prominence in OV vs. VO languages provides an automatic bootstrapping mechanism to cue word order (Mazuka, 1996; Nespor et al., 1996, 2008; Höhle et al., 2001; Shukla and Nespor, 2010).

Are infants able to exploit this cue? Sensitivity to prosody appears very early in development. Newborns’ communicative cries already show similarities with the prosodic patterns of the languages heard *in utero*, evidencing prenatal learning of prosody (Mampe et al., 2009). By 2 months of age, infants are able to discriminate the typical OV and VO prosodies described above (derived from Turkish and French, respectively), even when the stimuli are resynthesized to suppress all other distinctive features, e.g., segmental information (Christophe et al., 2003). Prosodic grouping preferences following the ITL have been documented as early as 6–8 months of age. Specifically, monolingual Japanese (OV) and monolingual English (VO) infants show language-specific prosodic grouping at 7–8 months, but not yet at 5–6 months (Yoshida et al., 2010) for the durational contrast with pure tone, i.e., non-linguistic, stimuli. Pitch and intensity were not tested in this study. For speech sequences, prosodic grouping was observed in monolingual Italian (VO) infants at 7 months with the pitch/intensity contrast, but not with duration (Bion et al., 2011).

Differences in the nature and complexity of the stimuli used in the two studies might explain why a duration-based grouping preference was found in one VO-exposed population (English infants in the Yoshida et al., 2010 study), but not in the other (Italian infants in the Bion et al., 2011; study). Taken together, these studies suggest that prosodic grouping preferences start to emerge at around 7–8 months of age in the monolingual populations tested. Similar results were obtained when prosodic cues were combined with statistical information in a word segmentation task: 9-month-old infants were able to use intensity as a cue to word onset and duration as a cue to word offset with both pure tones and speech stimuli, while 6.5-month-old infants could only use the intensity cue, but not duration (Hay and Saffran, 2011).

Recently, infants' ability to use prosody, and more specifically the ITL as a cue to word order has been tested directly (Gervain and Werker, under review). Seven-month-old OV (one of Japanese, Korean, Hindi/Punjabi, Farsi, or Turkish) – VO (English) bilinguals were exposed to a structurally ambiguous artificial grammar similar to the one used in Gervain et al. (2008). Importantly, prosody was added to the stream: half of the infants were exposed to the stream with OV prosody (pitch contrast), the other half to VO prosody (durational contrast). The test items were the same FI and IF sequences as in Gervain et al. (2008) with no prosodic cues (flat pitch and constant duration). Infants exposed to OV prosody showed a preference for the IF items, while infants in the VO prosody condition looked longer at the FI items. This suggests that OV–VO bilinguals are able to use phrasal prosody, in combination with word frequency, as a cue to select between the opposite word orders of their native languages. Interestingly, VO (English) monolinguals tested with the unfamiliar OV prosody did not show any preference, although they did prefer FI items when tested with no prosody, i.e., with only word frequency as a cue, replicating the monolingual Japanese and Italian findings (Gervain et al., 2008). This might indicate that by 7 months of age, monolinguals possess a stable representation of word order in terms of the distribution of frequent functors, which cannot be overridden by prosody when there is a conflict between the two cues (as was the case for the English monolinguals). An alternative explanation is that monolinguals may be less efficient at processing multiple cues, i.e., prosody and frequency, than bilinguals (Kovacs and Mehler, 2009a,b) and showed no preference in this task as a result of cognitive overload.

The current study, therefore, addresses two questions. First, we ask whether monolinguals are able to process word frequency and phrasal prosody simultaneously as cues to word order. Second, if they are, how do they integrate the two cues? To address these issues, we ran two studies (Figure 1), adapting the VO prosody condition from Gervain and Werker (under review). In Condition 1, the stimuli were identical to the VO prosody condition of Gervain and Werker (under review), with prosody and frequency perfectly aligned, i.e., with lengthening on the infrequent words as in natural language. We reasoned that for the monolingual French (VO) infants we tested, there is no conflict between prosody and frequency in this condition, so if they are able to process the two cues simultaneously, they should show a FI (VO) preference during test. If, however, the reason for their null preference in the Gervain and Werker (under review) study was the

simultaneous presence of two cues, then they should also fail to show a preference in the present study. In Condition 2, we also used VO prosody and word frequency as cues, but now they were misaligned: prosodic prominence was shifted by one word, rendering the frequent words longer. This pattern, i.e., prosodic prominence on function words, is unusual in natural languages. Therefore, if infants integrate the two cues at the level of individual lexical items, then an ill-formed, misaligned representation arises, possibly disrupting infants' preference for the FI (VO) pattern. If, however, prosody and frequency are processed separately, infants might still show a FI preference, because when considered independently, both cues are well-formed, native-like indicators of the functor-initial order of French.

MATERIALS AND METHODS

PARTICIPANTS

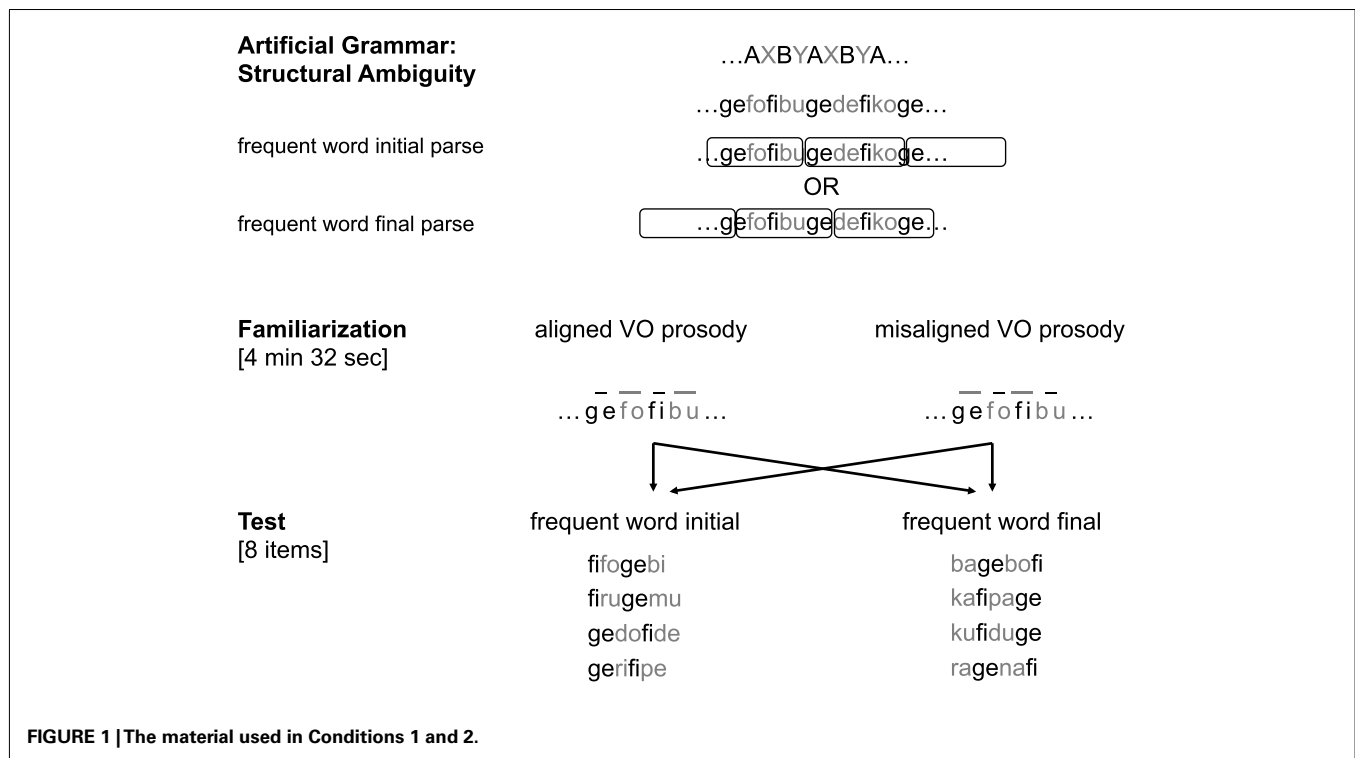
Thirty (13 girls and 17 boys) 8-month-old (mean age: 8 months and 6 days, range: 6 months and 24 days to 8 months and 25 days) infants participated in Condition 1. Among these 30 children, five had one parent who spoke a language other than French: Arabic (2), Antillean Creole (1), Hungarian (1), Italian (1). Only the Italian-exposed infant was retained for analysis. Six other children did not complete the experiment because of fussiness and crying. Thus, 20 infants entered the analysis of Condition 1.

Another 36 (18 girls and 18 boys) 8-month-old (mean age: 8 months and 3 days, range: 6 months and 22 days to 8 months and 27 days) infants participated in Condition 2. Among these 36 children, seven had one parent who spoke a language other than French: English (1), Russian (1), Spanish (3), and Turkish (2). The Turkish and Russian-exposed infants were not retained for analysis. However, the English- and Spanish-exposed infants were, as both languages are VO with phrasal prosodies that are sufficiently similar to that French. In addition, 11 children did not complete the experiment because of technical problems (3), fussiness and crying (6), and too short or too long looking times (2). Since the duration of a test item was 960 ms and the maximum duration of a trial test was 21.84 s, we kept only the trials with fixation times strictly between these two values. Also, babies with more than two test trials rejected were not included in the final data analysis. Thus, 22 infants entered the analysis of Condition 2.

All parents gave informed consent before participation, and completed an information sheet.

MATERIAL

An artificial grammar with ambiguous underlying structure was created for Conditions 1 and 2 (Figure 1), following Gervain and Werker (under review): a four-syllable-long basic unit AXBY was concatenated repeatedly. The A and B categories had one token each, while the X and the Y categories contained nine tokens, making individual X and Y tokens nine times less frequent than the A and B tokens. The lexicon of the artificial grammar consisted of the following words: A: *fi*, B: *ge*, X: *ru*, *pe*, *du*, *ba*, *fo*, *de*, *pa*, *ra*, *to*, Y: *mu*, *ri*, *ku*, *bo*, *bi*, *do*, *ka*, *na*, *ro*. This basic structure gave rise to a continuous stream of strictly alternating frequent (A and B) and infrequent (X and Y) words, mimicking function words and content words, respectively. The initial and final 15 s of the stream were ramped in amplitude in order to mask any



phase-information. The familiarization stream was thus ambiguous between a frequent word initial or frequent-infrequent (e.g., AXBY) and a frequent word final or infrequent-frequent (IF; e.g., XBYA) parse.

The familiarization stream was synthesized using the fr4 female diphone database of MBROLA (Dutoit, 1997). In the two conditions, we used the same pitch (200 Hz) for all syllables (both frequent and infrequent words). We added native prosody (VO prosody) to the stream. We manipulated the relative position of prosodic prominence and word frequency. In Condition 1, the two types of cues were congruent: the non-prominent frequent words were short (240 ms) and the prominent infrequent words were long (320 ms). In Condition 2, we misaligned word frequency and word length so that frequent words were long (320 ms) and infrequent words were short (240 ms). The total duration of the two types of familiarization streams was 4 min 32 s.

The test items were eight four-syllabic chunks from the stream. Four of them instantiated the frequent-infrequent (FI) order (corresponding to a VO language; *fifogebi/firugemu/gedofipe/gerifipe*), the other four the IF order (corresponding to an OV language; *kafipage/kufiduge/bagebofi/ragenafi*). The prosody was flat for all the test items: with a constant 240 ms syllable duration, resulting in 960 ms long test items.

PROCEDURE

Participants were tested individually in a sound-attenuated room, with a low light intensity. The Headturn Preference Procedure (HPP, KemlerNelson et al., 1995) was used. Babies were seated on their caregiver's lap in front of a central attention-getter light. Each experimental session consisted of a familiarization phase (with one of the two streams: word length and word frequency aligned

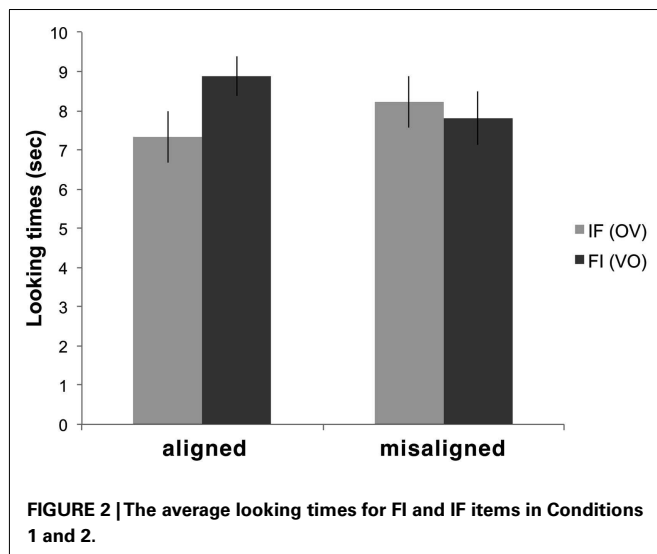
or misaligned) immediately followed by a test phase. During the familiarization phase, a continuous stream, which lasted 4 min 32 s, was presented to the participants from two side speakers, associated with two attention-getter lights. During the familiarization phase, the lights were contingent upon the infants' looking behavior, but were independent of the sound stimuli. During test trials, babies heard one of the eight four-syllabic chunks from the stream (four per condition). Before each test trial, infants' attention was drawn to the central attention-getter light. Once this was achieved, the central light was turned off, and one of the sidelights was turned on. A test trial began when infants turned away from the central light and attended to the flashing sidelight. The test item was then presented at the same side. When babies looked for the maximum duration of the trial or if they looked away for more than 2 s, the trial ended, the sidelight was turned off, and the central attention-getter light started blinking again.

Each child heard eight test items: four in each condition (FI or IF). Stimuli were pseudo-randomized for each participant: there could not be more than two consecutive test items in the same condition. They were also counterbalanced between participants.

An experimenter observed infants' behavior on a video monitor placed outside the experimental booth and controlled the lights and the stimuli. She listened to masking music and was blind to the stimuli being presented. Infants' looking behavior was coded offline using the video recording made during the experiment.

RESULTS

The average looking times to FI and IF items in the two conditions are shown in **Figure 2**. We conducted an ANOVA with Familiarization Condition (Cond 1 aligned/Cond 2 misaligned) as



a between-subjects factor and Test Item Type (FI/IF) as a within-subjects factor. We obtained a significant Familiarization Condition $\times$ Test Item Type interaction [$F(1,40) = 5.3983, p = 0.026$]. This was due to significantly longer looking times (Scheffe *post hoc* test $p = 0.010$) to FI test items than to IF ones in Exp 1 (aligned familiarization), but not in Exp 2 (misaligned familiarization). No other effect was significant.

DISCUSSION

In this study, we tested whether monolingual French-exposed 8-month-old infants are able to use word frequency and prosody as simultaneous cues to a rudimentary representation of the word order type of their native language. In an artificial grammar learning task, we found that they indeed showed the predicted preference for frequent word initial test items, mimicking the functor-initial word order of French, when the two cues were aligned at the level of lexical items, i.e., frequency words were non-prominent, but not when they were misaligned.

A possible alternative interpretation could be that infants in Condition 1 simply did not use prosody as a cue and succeeded on the basis of the frequency cue alone, as did monolingual Japanese and Italian infants in the Gervain et al. (2008) study. However, this interpretation is not probable, because if infants ignored prosody altogether in Condition 1, we would expect them to do the same in Condition 2, showing the same FI preference, contrary to fact.

Our results, therefore, suggest that monolinguals are not hindered by the presence of simultaneous cues as long as the prosodic cue is coherent with the frequency cue. This coherence is required at least at two levels. First, frequency and prosody cannot be in conflict: the OV prosody used with English-exposed infants in the Gervain and Werker (under review) study gives rise to a null preference, as neither cue overrides the other, i.e., they carry equal weight. Second, the prosodic cue and the word frequency cue need to be aligned at the lexical level, suggesting that the two cues are processed in an integrated manner.

What representations are formed through this integrative process? Further research is needed to explore the full details of how word order is acquired. It is not clear, for instance, whether both the frequent and the infrequent words are learned, or only the frequent ones. What the present study shows, however, is that infants expect lexical categories that follow the characteristics of those found in natural languages. Thus, they expect frequent words to occupy the typical positions of functors and to be prosodically less prominent than infrequent words, reflecting their knowledge of the typical features of functors, and content words. This is in accordance with previous results showing that infants as young as newborns are able to discriminate functors and content words on the basis of their different perceptual properties, and have expectations about their function and sentential position at an early age (Gerken et al., 1990; Gerken and McIntosh, 1993; Morgan et al., 1996; Shi et al., 1999, 2006; Shi and Werker, 2001, 2003; Höhle and Weissenborn, 2003; Hochmann et al., 2010). Further, this knowledge is abstract enough to allow generalization to a novel language, reflecting the existence of a representation of word order in terms of functor positions.

This simple representation of basic word order type in terms of function word position might be a first step in bootstrapping more complex word order phenomena and grammatical structure in general. During subsequent language development, infants might enrich this representation relying on several sources. They might be able to exploit the correlations that exist between the position of functors and other word order phenomena, such as the relative order of Verbs and their Objects, main and subordinate clauses etc (Kucera and Francis, 1967; Gervain et al., 2008). They might rely on their emerging vocabulary of object and action labels (Bergelson and Swingley, 2012) or their increasing understanding of intentionality (Csibra and Gergely, 2009) to determine the syntactic and semantic patterns of simple utterances in their input and generalize them to understand and produce more complex structures, as suggested by the semantic (Pinker, 1984) and syntactic bootstrapping hypotheses (Gleitman et al., 1988; Fisher et al., 1991).

If infants integrate word frequency and phrasal prosody at the level of lexical categories, as argued above, can we really conclude that this bootstrapping mechanism is prelexical and independent of vocabulary learning, as claimed before? In our view, this conclusion is justified for at least two reasons. First, infants' knowledge appears to be category- and not item-based. There is nothing about the specific words used as frequent and infrequent items in our study that requires them to be prosodically weak or strong, respectively. It is infants' knowledge about the lexical category of functors and content words in natural language that allows them to process the aligned grammar as well-formed and the misaligned one as ill-formed. Second, although recent results suggest that infants show evidence of word learning between 6–9 months of age (Bergelson and Swingley, 2012), at 8 months, the age tested in this study, they certainly do not yet have a sizeable lexicon. Therefore, they have no item-based knowledge in the sense of Tomasello (2000) that could support the word order representations we have uncovered in this study.

Taken together, our findings suggest that a first representation of a fundamental property of the native language,

word order, is bootstrapped very early in development on the basis of perceptual cues such as word frequency and phrasal prosody. This early acquisition might have a cascading effect on the subsequent development of the native grammar and the lexicon.

REFERENCES

- Abney, S. (1987). *The English Noun Phrase in its Sentential Aspect*. Cambridge: MIT.
- Akhtar, N., and Tomasello, M. (1997). Young children's productivity with word order and verb morphology. *Dev. Psychol.* 33, 952.
- Aslin, R. N., Woodward, J. Z., LaMendola, N. P., and Bever, T. G. (1996). "Models of word segmentation in fluent maternal speech to infants," in *Signal to Syntax: Bootstrapping from Speech to Grammar in Early Acquisition*, eds J. L. Morgan and K. Demuth (Mahwah: Erlbaum), 117–134.
- Bergelson, E., and Swingle, D. (2012). At 6–9 months, human infants know the meanings of many common nouns. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 109, 3253–3258.
- Bion, R. A. H., Benavides-Varela, S., and Nespor, M. (2011). Acoustic markers of prominence influence infants' and adults' segmentation of speech sequences. *Lang. Speech* 54, 123.
- Bolton, T. L. (1894). Rhythm. *Am. J. Psychol.* 6, 145–238.
- Brown, R. W. (1973). *A First Language: The Early Stages*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Christophe, A., Marina, N., Maria, T. G., and Brit, V. O. (2003). Prosodic structure and syntactic acquisition: the case of the head-direction parameter. *Dev. Sci.* 6, 211–220.
- Csibra, G., and Gergely, G. (2009). Natural pedagogy. *Trends Cogn. Sci. (Regul. Ed.)* 13, 148–153.
- Dryer, M. S. (1992). The Greenbergian word order correlations. *Language* 68, 81–138.
- Dutoit, T. (1997). *An Introduction to Text-to-Speech Synthesis*, Vol. 3. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Fisher, C., Gleitman, H., and Gleitman, L. R. (1991). On the semantic content of subcategorization frames. *Cogn. Psychol.* 23, 331–392.
- Fukui, N. (1986). *A Theory of Category Projection and its Applications*. Cambridge: MIT.
- Gerken, L., Landau, B., and Remez, R. (1990). Function morphemes in young children's speech perception and production. *Dev. Psychol.* 26, 204–216.
- Gerken, L., and McIntosh, B. (1993). Interplay of function morphemes and prosody in early language. *Dev. Psychol.* 29, 448–457.
- Gervain, J., Nespor, M., Mazuka, R., Horie, R., and Mehler, J. (2008). Bootstrapping word order in prelexical infants: a Japanese-Italian cross-linguistic study. *Cogn. Psychol.* 57, 56–74.
- Gleitman, L. R., Gleitman, H., Landau, B., and Wanner, E. (1988). "Where learning begins: initial representations for language learning," in *Linguistics: The Cambridge Survey: Vol. 3. Language: Psychological and Biological Processes* (Cambridge: Cambridge University Press), 150–193.
- Greenberg, J. H. (1978). *Universals of Human Language*. Stanford: Stanford University Press.
- Hay, J. F., and Saffran, J. R. (2011). Rhythmic grouping biases constrain infant statistical learning. *Infancy* 17, 610–641.
- Hayes, B. (1995). *Metrical Stress Theory: Principles and Case Studies*. Chicago: University of Chicago Press.
- Hochmann, J. R., Endress, A. D., and Mehler, J. (2010). Word frequency as a cue for identifying function words in infancy. *Cognition* 115, 444–457.
- Höhle, B., and Weissenborn, J. (2003). German-learning infants' ability to detect unstressed closed-class elements in continuous speech. *Dev. Sci.* 6, 122–127.
- Höhle, B., Weissenborn, J., Schmitz, M., and Ischebeck, A. (2001). "Discovering word order regularities: the role of prosodic information for early parameter setting," in *Approaches to Bootstrapping: Phonological, Lexical, Syntactic and Neurophysiological Aspects of Early Language Acquisition*, eds J. Weissenborn and B. Höhle (Amsterdam: John Benjamins), 249–265.
- KemlerNelson, D. G., Jusczyk, P. W., Mandel, D. R., Myers, J., Turk, A. E., and Gerken, L. (1995). The head-turn preference procedure for testing auditory perception. *Infant Behav. Dev.* 18, 111–116.
- Kovacs, A. M., and Mehler, J. (2009a). Cognitive gains in 7-month-old bilingual infants. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 106, 6556–6560.
- Kovacs, A. M., and Mehler, J. (2009b). Flexible learning of multiple speech structures in bilingual infants. *Science* 325, 611–612.
- Kucera, H., and Francis, W. N. (1967). *Computational Analysis of Present-day American English*. Providence: Brown University Press.
- Mampe, B., Friederici, A. D., Christophe, A., and Wermke, K. (2009). Newborns' cry melody is shaped by their native language. *Curr. Biol.* 19, 1994–1997.
- Mazuka, R. (1996). *Can a Grammatical Parameter be Set Before the First Word? Prosodic Contributions to Early Setting of a Grammatical Parameter*. *Signal to Syntax*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 313–330.
- Morgan, J. L., and Demuth, K. (1996). *Signal to Syntax: Bootstrapping from Speech to Grammar in Early Acquisition*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Morgan, J. L., Shi, R., and Allopenna, P. (1996). "Perceptual bases of rudimentary grammatical categories: toward a broader conceptualization of bootstrapping," in *Signal to Syntax* (Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates), 263–283.
- Nespor, M., Guasti, M. T., and Christophe, A. (1996). "Selecting word order: the rhythmic activation principle," in *Interfaces in Phonology*, ed. U. Kleinhenz (Berlin: Akademie Verlag), 1–26.
- Nespor, M., Shukla, M., van de Vijver, R., Avesani, C., Schraudolph, H., and Donati, C. (2008). Different phrasal prominence realization in VO and OV languages. *Lingue e Linguaggio* 7, 1–28.
- Nespor, M., and Vogel, I. (1986). *Prosodic Phonology*, Vol. 28. Dordrecht: Foris.
- Pinker, S. (1984). *Language Learnability and Language Development*, Vol. 7. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Shi, R., Cutler, A., Werker, J., and Cruickshank, M. (2006). Frequency and form as determinants of functor sensitivity in English-acquiring infants. *J. Acoust. Soc. Am.* 119, EL61–EL67.
- Shi, R., and Werker, J. F. (2001). Six-month-old infants' preference for lexical words. *Psychol. Sci.* 12, 71–76.
- Shi, R., and Werker, J. F. (2003). The basis of preference for lexical words in 6-month-old infants. *Dev. Sci.* 6, 484–488.
- Shi, R., Werker, J. F., and Morgan, J. L. (1999). Newborn infants' sensitivity to perceptual cues to lexical and grammatical words. *Cognition* 72, B11–B21.
- Shukla, M., and Nespor, M. (2010). "Rhythmic patterns cue word order," in *The Sound Patterns of Syntax*, ed. N. Erteschick-Shir (Oxford: Oxford University Press), 174–188.
- Tomasello, M. (2000). Do young children have adult syntactic competence? *Cognition* 74, 209–253.
- Weissenborn, J., Höhle, B., Kiefer, D., and Cavar, D. (1996). "Children's sensitivity to word-order violations in German: evidence for very early parameter-setting," in *Proceedings of the Boston University Conference on Language Development*, Vol. 22. Somerville: Cascadia Press.
- Woodrow, H. (1951). "Time Perception," in *Handbook of Experimental Psychology*, ed. S. S. Stevens (New York: Wiley), 1224–1236.
- Yoshida, K. A., Iversen, J. R., Patel, A. D., Mazuka, R., Nito, H., Gervain, J., et al. (2010). The development of perceptual grouping biases in infancy: a Japanese-English cross-linguistic study. *Cognition* 115, 356–361.

Conflict of Interest Statement: The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Received: 04 August 2012; accepted: 08 October 2012; published online: 30 October 2012.

Citation: Bernard C and Gervain J (2012) Prosodic cues to word order: what level of representation? *Front. Psychology* 3:451. doi: 10.3389/fpsyg.2012.00451

This article was submitted to *Frontiers in Language Sciences*, a specialty of *Frontiers in Psychology*.

Copyright © 2012 Bernard and Gervain. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in other forums, provided the original authors and source are credited and subject to any copyright notices concerning any third-party graphics etc.