



<http://portaildoc.univ-lyon1.fr>

Creative commons : Paternité - Pas d'Utilisation Commerciale -
Pas de Modification 2.0 France (CC BY-NC-ND 2.0)



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr>



N° de mémoire 2241

Mémoire d'Orthophonie

présenté pour l'obtention du

Certificat de capacité d'orthophoniste

Par

ETHEVE Chloé

**Remédiation de la prosodie par stimulation rythmique et retour
visuel chez des enfants avec des Troubles du Spectre de l'Autisme**

Etudes de cas multiples

Mémoire dirigé par

BEDOIN Nathalie

Année académique

2021-2022

INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE READAPTATION
DEPARTEMENT ORTHOPHONIE

Directeur ISTR
Jacques LUAUTÉ

Equipe de direction du département d'orthophonie

Directeur de la formation
Agnès BO

Coordinateur de cycle 1
Claire GENTIL

Coordinateur de cycle 2
Solveig CHAPUIS

Responsables de l'enseignement clinique
Claire GENTIL
Johanne BOUQUAND
Ségolène CHOPARD
Alice MICHEL-JOMBART

Responsables des travaux de recherche
Mélanie CANAULT
Floriane DELPHIN-COMBE
Claire GENTIL
Nicolas PETIT

Responsable de la formation continue
Johanne BOUQUAND

Responsable du pôle scolarité
Rachel BOUTARD

Secrétariat de scolarité
Anaïs BARTEVIAN
Constance DOREAU-KNINDICK

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON 1

Président
Pr. FLEURY Frédéric

Vice-président CFVU
Pr. CHEVALIER Philippe

Vice-président CA
Pr. REVEL Didier

Vice-président CS
M. VALLEE Fabrice

Directeur Général des Services
M. VERHAEGHE Damien

1 Secteur Santé

U.F.R. de Médecine Lyon Est Doyen
Pr. RODE Gilles

Institut des Sciences Pharmaceutiques et
Biologiques
Directeur **Pr. DUSSART Claude**

U.F.R. de Médecine et de maïeutique
Lyon-Sud Charles Mérieux Doyenne
Pr. BURILLON Carole

Institut des Sciences et Techniques de la
Réadaptation (I.S.T.R.)
Directeur **Pr LUAUTÉ Jacques**

U.F.R. d'Odontologie
Directeur **Pr. MAURIN Jean-
Christophe**

2 Secteur Sciences et Technologie

U.F.R. Faculté des Sciences
Directeur **M. ANDRIOLETTI Bruno**

Institut des Sciences Financières et
d'Assurance (I.S.F.A.)
Directeur **M. LEBOISNE Nicolas**

U.F.R. Biosciences
Directrice **Mme GIESELER Kathrin**

Observatoire Astronomique de Lyon
Directeur **Mme DANIEL Isabelle**

U.F.R. de Sciences et Techniques des
Activités Physiques et Sportives
(S.T.A.P.S.)
Directeur **M. BODET Guillaume**

POLYTECH LYON
Directeur **M. PERRIN Emmanuel**

Institut National Supérieure du
Professorat et de l'Éducation (INSPé)
Directeur **M. CHAREYRON Pierre**

Institut Universitaire de Technologie de
Lyon 1 (I.U.T. LYON 1)
Directeur **M. MASSENZIO Michel**

Résumé

Les patients avec des Troubles du Spectre de l'Autisme (TSA) présentent communément dans leur tableau clinique des difficultés prosodiques, en production et en réception, qui peuvent impacter les compétences pragmatiques, la théorie de l'esprit et plus généralement l'inclusion dans la vie sociale. Des difficultés similaires sont rencontrées dans le cas du Trouble Développementale du Langage pour lequel un protocole d'entraînement ciblant la prosodie a été créé et a montré des résultats encourageants. Partant de ce constat, nous avons repris et dispensé ce protocole auprès de quatre enfants (P1 à P4) avec un TSA, âgés de 8 à 13 ans. Il porte sur la différence intonative de phrases interrogatives et injonctives. Il utilise des exercices de répétition pour impliquer la perception et la production, et se sert d'un amorçage rythmique et d'un retour visuel. Cet entraînement est court : 1h30 en deux ou trois séances (une séance par semaine). Son effet a été évalué via les performances dans trois tâches : jugement (discrimination question/ordre), imitation (répétition de questions et d'ordres entendus) et production (répétition de phrases monotones en produisant une intonation interrogative ou injonctive). Les quatre patients ont été testés initialement (T1) puis après 1h30 de rééducation orthophonique habituelle pour évaluer l'effet test-retest (T2) et après l'entraînement (T3) afin d'évaluer son effet. L'entraînement a été suivi d'une amélioration significative des performances en prosodie pour deux des quatre patients (P1 et P4), avec un transfert des compétences en jugement perceptif et en production sans modèle intonatif. L'hétérogénéité des profils des patients avec TSA pourrait expliquer en partie la variété des effets de l'entraînement. Les résultats de cette étude pilote sont encourageants et suggèrent que les déficits en prosodie d'enfants avec un TSA peuvent être pris en soin par un entraînement intensif et court, prenant en considération les spécificités de la pathologie. La réalisation des passations conduit à proposer des aménagements du protocole avant de tester ses effets sur un plus grand échantillon de patients, ainsi qu'à des enfants tout-venants pour établir des normes pour les tests pré-post-entraînement.

Mots clés : prosodie, remédiation, amorçage rythmique, retour visuel, Trouble du Spectre de l'Autisme

Abstract

Patients with Autism Spectrum Disorders (ASD) commonly present in their clinical picture prosodic difficulties, in production and reception, which can impact pragmatic skills, theory of mind and more generally inclusion in social life. Similar difficulties are encountered in the case of Developmental Language Disorder for which a training protocol targeting prosody has been created and has shown encouraging results. Based on this observation, we have taken up and implemented this protocol with four children (P1 to P4) with ASD, aged 8 to 13 years. It focuses on the intonational difference of interrogative and injunctive sentences. It uses repetition exercises to involve perception and production and uses rhythmic priming and visual feedback. This training is short: 1h30 in two or three sessions (one session per week). Its effect was evaluated via performance in three tasks: judgment (question/order discrimination), imitation (repetition of heard questions and orders) and production (repetition of monotonous sentences while producing an interrogative or injunctive intonation). The four patients were tested initially (T1) and then after 1.5 hours of usual speech therapy to evaluate the test-retest effect (T2) and after training (T3) to evaluate its effect. The training was followed by a significant improvement in prosody performance for two of the four patients (P1 and P4), with a transfer of skills in perceptual judgement and production without intonation pattern. The heterogeneity of the profiles of the patients with ASD could explain in part the variety of the effects of the training. The results of this pilot study are encouraging and suggest that the prosody deficits of children with ASD can be treated by an intensive and short training, considering the specificities of the pathology. The completion of the passages leads to propose adjustments of the protocol before testing its effects on a larger sample of patients, as well as on children of all ages to establish norms for the pre-post training tests.

Key words: prosody, remediation, rhythmic priming, visual feedback, autism spectrum disorder

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier ma directrice de mémoire et de DRTO, Nathalie Bedoin, de m'avoir suivie et accompagnée dans cette recherche, de m'avoir aiguillée et guidée, toujours dans l'optique du meilleur. Ces deux années de travail n'auront pas été toujours faciles, ponctuées de moments plus légers et plus lourds. Merci à elle de s'être rendue disponible pour moi malgré les conditions difficiles auxquelles elle a dû faire face. Je sors de ce travail, grandie et avec de nouvelles perspectives en tête, pour ma pratique professionnelle comme pour ma vie personnelle, notamment grâce à son investissement.

Je remercie également Geneviève Gastineau, qui m'a très gentiment ouvert les portes de son mémoire afin que je puisse en prendre la suite.

Je remercie les patients d'avoir participé à cette étude ainsi que leur famille de m'avoir fait confiance et conseillée quant aux spécificités de leurs enfants.

J'adresse également mes remerciements à Caroline Gaillard-Vogrig, ma chère maîtresse de stage de cette dernière année et future collègue, qui, en plus de m'avoir permis de réaliser mon protocole auprès de l'un de ses patients, m'a apporté le soutien et l'assurance nécessaire pour le début de ma pratique professionnelle.

Je tiens à remercier aussi Isabelle Pilière et l'ensemble de l'équipe du SESSAD APAJH Bourg-en-Bresse, pour l'accueil qui m'a été fait cette année, et grâce à qui j'ai pu trouver la majorité des participants de mon étude et passer d'excellentes semaines de stage.

Je voulais également mentionner tout spécialement la belle association qui m'a suivie et portée durant mes cinq années d'études, l'AECOR. J'y ai trouvé une échappatoire, des amis incroyables et m'investir pour elle n'aura été que du bonheur. Merci à tous ceux qui ont partagé ces années avec moi, vous êtes des personnes formidables et je ne vous oublierai pas.

Enfin, je remercie bien évidemment tous mes proches, Alexandre, mes amis et ma famille de m'avoir soutenue et rassurée quand il le fallait, d'avoir toujours cru en moi et de me pousser constamment vers le haut. Sans eux, je n'en serai sûrement pas là aujourd'hui, alors merci.

Sommaire

I	Partie théorique	1
1	La prosodie.....	2
1.1	Généralités	2
1.1.1	<i>Définition.....</i>	2
1.1.2	<i>Eléments prosodiques du langage.</i>	2
1.2	Prosodie et traitement cérébral.....	3
1.3	Prosodie et langage.....	4
2	Les Troubles du Spectre de l'Autisme (TSA).....	4
2.1	TSA et particularités cérébrales.....	4
2.2	TSA, rythme et musique	5
2.3	TSA et prosodie.....	6
3	Réhabilitation de la prosodie	7
3.1	Le rythme.....	7
3.1.1	<i>Les liens rythme, musique et prosodie.</i>	7
3.1.2	<i>Les influences du rythme sur les compétences cognitives.</i>	7
3.1.3	<i>Amorçage rythmique pour la remédiation de la prosodie.</i>	8
3.2	Retour visuel (feedback visuel) pour la remédiation de la prosodie.....	9
4	Réhabilitation de la prosodie chez des enfants avec un TSA.....	10
II	Méthode.....	11
1	Population.....	11
2	Matériel.....	11
2.1	Matériel technique	11
2.2	Evaluations pré- et post-entraînement.....	12
2.2.1	<i>Composition des épreuves d'évaluation de la prosodie.....</i>	12
2.2.2	<i>Phrases des épreuves.....</i>	12

2.2.3	<i>Voix utilisée pour les phrases des trois épreuves.</i>	12
2.2.4	<i>Les consignes.</i>	12
2.3	Entraînements	13
2.3.1	<i>Amorces musicales.</i>	13
2.3.2	<i>Phrases.</i>	13
2.3.3	<i>Retour visuel.</i>	13
3	Procédure	13
3.1	Procédure générale de l'étude	13
3.2	Procédure des épreuves d'évaluation	14
3.2.1	<i>Procédure générale des évaluations.</i>	14
3.2.2	<i>Procédure des différentes épreuves.</i>	14
3.3	Procédure de l'entraînement	15
3.3.1	<i>Calibrage du microphone.</i>	15
3.3.2	<i>Phrases.</i>	16
3.3.3	<i>Retour visuel de la production.</i>	16
III	Résultats	16
1	Analyse des données	16
2	Tâche de jugement	17
3	Tâche d'imitation	19
4	Tâche de production	20
IV	Discussion	22
1	Recontextualisation	22
2	Déficits prosodiques chez des enfants avec un TSA	23
3	Effets de l'entraînement prosodique	24
3.1	Epreuve d'imitation	24
3.2	Epreuve de jugement	25
3.3	Epreuve de production	26

4	Limites et perspectives	27
4.1	Population et différences inter-individuelles.....	27
4.1.1	<i>Sensorialité</i>	27
4.1.2	<i>Région et accent</i>	28
4.2	Cadre.....	28
4.2.1	<i>Lieu de suivi, moment et durée des séances</i>	28
4.2.2	<i>Consignes et format du protocole</i>	28
4.3	Amorce rythmique et retour visuel	29
V	Conclusion.....	30
	Références	31

I Partie théorique

Les enfants avec des Troubles du Spectre de l'Autisme (TSA) présentent dans leur tableau clinique un large panel de difficultés. Certaines ont des retentissements particulièrement handicapants comme les difficultés pragmatiques, les déficits de compétences liées à la théorie de l'esprit ou encore les troubles langagiers. Les habiletés langagières et pragmatiques sont étroitement liées aux compétences prosodiques (Lacroix, 2016; Pronina et al., 2021). En effet, ces dernières jouent un rôle précoce dans l'acquisition du langage et permettent d'interpréter des informations linguistiques et émotionnelles nécessaires à la communication et à la vie sociale. Aujourd'hui, il est avéré que la prosodie fait partie des domaines langagiers déficitaires en cas de TSA (Järvinen-Pasley & Heaton, 2007). Cependant, ce versant de la communication est souvent délaissé dans la prise en soin orthophonique de l'enfant avec un TSA, car il est jugé secondaire, les outils adaptés à son évaluation et à sa remédiation manquent, et il est aussi peu documenté.

Dans ce contexte, cette étude a pour objectif de contribuer à la mise en place et à l'adaptation d'un protocole d'évaluation et d'entraînement à l'acquisition de règles prosodiques du français. Il porte sur la distinction entre des phrases interrogatives et injonctives, chez des enfants avec TSA. Elle fait suite à l'étude menée par Geneviève Gastineau dans son mémoire d'orthophonie *Stimulation rythmique et retour visuel pour l'apprentissage de la prosodie chez des enfants porteurs d'un trouble développemental du langage* (Gastineau, 2021). Dans cette recherche, un programme d'entraînement basé sur l'amorçage rythmique et le retour visuel sur l'information acoustique, ainsi que trois épreuves destinées à évaluer son impact, avait été mis en place. Les résultats obtenus auprès d'enfants présentant un Trouble Développemental du Langage (TDL) étaient encourageants. Comme les patients avec TDL présentent des difficultés qui peuvent s'apparenter à celles de certains enfants avec TSA, nous avons proposé ce protocole à des enfants porteurs de ce trouble. Cette étude teste, à travers quatre cas, si l'association entre un amorçage rythmique, un retour visuel et des exercices de répétition de phrases peut améliorer la discrimination perceptive et la production de l'intonation de phrases interrogatives et injonctives avec ou sans modèle audio pour l'intonation par des enfants avec un TSA.

1 La prosodie

1.1 Généralités

1.1.1 Définition.

Le terme « prosodie » vient du grec ancien « prosôidia » qui renvoie à l'accentuation mélodique distinctive. Il a ensuite évolué pour se rapprocher d'une signification métrique. Aujourd'hui, la notion de « prosodie » oscille entre ces deux idées qui seraient fortement liées (Di Cristo, 2013).

Elle permet de repérer différentes unités fonctionnelles de la langue, comme des groupes de mots, des mots, des phrases, des unités lexicales ou syntaxiques par exemple (Lacroix, 2016). La prosodie recouvre plusieurs aspects : l'intonation, l'accentuation, le rythme, le débit et les pauses, qui constituent les éléments prosodiques ou les éléments suprasegmentaux du langage (Di Cristo, 2013 ; Lacroix, 2016 ; Simon, 2004). Ils sont dits suprasegmentaux, car ils ne portent pas individuellement sur les "segments" de la langue (i.e. les phonèmes), mais plutôt sur les mots et les groupes de sens (Delattre, 1966).

1.1.2 Eléments prosodiques du langage.

Les trois types de modulation qui sous-tendent fortement la prosodie du français portent sur le rythme et les modulations de l'amplitude et de la fréquence fondamentale (F0, perçue comme la hauteur de la voix). La prosodie du français s'agence selon un rythme syllabique. L'unité minimale prosodique peut être définie grammaticalement et sa production en discours spontané est dépendante de critères syntactico-sémantique, métrique et stylistique (Avanzi et al., 2016).

La prosodie du français peut être agencée selon plusieurs niveaux prosodiques comme le présentent Di Cristo & Hirst (1993). Le premier niveau, les unités tonales, correspond aux groupes accentuels. Il s'agit d'une séquence de syllabes délimitée à droite par une syllabe accentuée. Le deuxième niveau correspond aux unités rythmiques, une suite de syllabes délimitée par un accent primaire (accent final). Le dernier niveau est celui des unités intonatives qui regroupent plusieurs unités rythmiques.

Les variations de la fréquence fondamentale (F0) permettent au locuteur de différencier les types de phrases et de s'adapter au cours de l'échange. Pour une même structure syntaxique, il est parfois possible de passer d'une phrase interrogative à une phrase injonctive seulement en modifiant l'intonation sur la dernière syllabe de la phrase. La F0 va alors monter (« Jean-Marie va manger ? ») ou descendre (« Jean-Marie va manger ! ») (Delattre, 1966).

1.2 Prosodie et traitement cérébral

Le traitement cognitif des éléments prosodiques nécessite l'investissement des deux hémisphères cérébraux, chacun jouant un rôle d'analyse de différentes propriétés du signal de parole.

L'hémisphère droit (HD), dans lequel le cortex auditif a des capacités de résolution temporelle relativement larges, s'implique fortement dans le traitement des variations de hauteur. Les aires auditives de l'HD traitent les basses fréquences du signal dont est principalement extraite la F0. Les aspects temporels et rythmiques de la parole seraient traités préférentiellement dans les aires auditives de l'hémisphère gauche (HG) (Zatorre & Belin, 2001), qui possèdent une capacité de résolution temporelle plus fine. Ceci va permettre l'analyse des variations rapides des informations qui ont un rôle déterminant dans le signal de parole (Di Cristo, 2013). L'extraction d'unités prosodiques repose aussi sur une sensibilité au rythme et des capacités d'analyse temporelle, mais à une échelle plus large qui est rendue disponible par le cortex auditif droit (Poeppel, 2003 ; Poeppel et al., 2008).

Les deux hémisphères cérébraux sont donc complémentaires pour traiter les différents aspects de la parole. Les informations doivent être unifiées afin d'être traitées dans leur intégralité. La mémoire de travail verbale permet de faire cette intégration. Elle doit être performante pour favoriser la compréhension et la production de la prosodie de la langue (Di Cristo, 2013 ; LaCroix et al., 2020).

Il est des circonstances où il est aussi primordial de pouvoir se concentrer sur certains aspects du signal de parole, qu'ils soient courts ou de longue durée. De bonnes capacités attentionnelles sont ainsi par exemple nécessaires pour orienter son attention sur les variations prosodiques (LaCroix et al., 2020).

1.3 Prosodie et langage

Le développement du langage de l'enfant concerne plusieurs composantes : la phonologie, le lexique, la syntaxe, la pragmatique et la prosodie. Cette dernière joue un rôle crucial puisqu'elle amorce l'acquisition implicite de compétences grammaticales et syntaxiques ainsi que de l'ajustement pragmatique.

In utero, les circuits neuronaux spécialisés dans le traitement des éléments prosodiques sont déjà très actifs. Dès la naissance, un enfant est sensible avant tout aux variations prosodiques de la langue, lui permettant de différencier plusieurs langues, de discriminer sa langue maternelle et de reconnaître la voix de sa mère (Lacroix, 2016 ; Martel et al., 2020 ; Nazzi et al., 1998).

La prosodie constitue ainsi une des principales voies d'accès au langage pour les enfants. Elle constitue une bonne base pour distinguer différentes unités fonctionnelles de la langue. L'enfant va utiliser la prosodie à visée communicative dès 10-12 mois (Lacroix, 2016). L'émergence de la syntaxe chez le bébé (juxtaposition de deux mots) va s'appuyer sur la présence des pauses dans les phrases, ainsi que sur la combinaison d'autres indices prosodiques tels que le phénomène d'allongement syllabique, que l'on retrouve dans le langage adressé à l'enfant (LAE) et l'intonation (de Carvalho et al., 2016, 2017 ; Dodane et al., 2018 ; Martel et al., 2020).

La prosodie joue également un rôle pragmatique en permettant d'inférer les émotions de l'interlocuteur, mais aussi la compréhension de situations d'ironie ou de sarcasme (Lacroix, 2016 ; Orsucci et al., 2013). L'accroissement des compétences prosodiques de l'enfant va contribuer au développement de sa Théorie de l'Esprit (Pronina et al., 2021).

Le développement de ces compétences prosodiques est parfois déficitaire. Cela se produit notamment pour l'usage et la compréhension dans certaines pathologies comme l'autisme (Lacroix, 2016).

2 Les Troubles du Spectre de l'Autisme (TSA)

2.1 TSA et particularités cérébrales

Les Troubles du Spectre de l'Autisme (TSA) ont été dissociés de la schizophrénie par

Kanner et Mahler en 1943 (Hochmann, 2012). Depuis, la description de ces troubles a grandement évolué. D'après le DSM-5, les TSA sont des troubles neuro-développementaux caractérisés par deux types de symptômes : une communication sociale déficitaire et des intérêts restreints (American Psychiatric Association, 2013).

Il est possible d'observer chez les enfants avec un TSA de nombreux troubles dans la sphère langagière, comme des difficultés de compréhension des signaux langagiers, des processus sémantiques et de la prosodie de la parole (Järvinen-Pasley & Heaton, 2007). Des compétences connexes au langage sont également souvent perturbées comme les fonctions exécutives, les processus d'analyse d'informations complexes et la théorie de l'esprit (Lai et al., 2012).

Des données en neurosciences montrent que les personnes avec TSA présentent des particularités cérébrales fonctionnelles et morphologiques, notamment des connexions neuronales atypiques entre certaines aires corticales et une hypoplasie du cervelet (Belmonte et al., 2004). De plus, une anomalie des rythmes cérébraux participerait à l'altération du découpage du signal de parole, notamment au niveau prosodique (Soltész et al., 2013).

2.2 TSA, rythme et musique

Les patients présentant un TSA sont parfois décrits comme ayant des compétences préservées dans le domaine de la musique et de la perception musicale (Sharda et al., 2018). Ils sont en mesure de discriminer des variations de fréquence très fines (e.g., 1000 Hz / 1030 Hz) et d'associer une image à une musique selon l'émotion que cette dernière transmet (Quintin, 2019).

La perception musicale de ces patients serait suffisamment efficace pour être envisagée comme méthode ou appui de prise en soin. En effet, la rééducation par le rythme permettrait de stabiliser les variabilités cérébrales et motrices des TSA (Hardy & LaGasse, 2013) et d'améliorer certaines capacités attentionnelles (Bharathi et al., 2019) comme l'attention sélective (LaGasse et al., 2019) et l'attention temporelle. L'attention temporelle est la manière dont les ressources de traitement se distribuent dans le temps. Selon le modèle de l'attention dynamique (DAT, Barnes & Jones, 2000; Jones, 1976) elle se déploierait de manière cyclique, mais simultanément à différents rythmes. Cela permettrait la séquenciation du signal de parole à plusieurs échelles,

selon les modèles d'analyse de la parole à échelles multiples (Poeppe, 2003 ; Poeppe et al., 2008). Une échelle large, qui offre une fenêtre d'analyse temporelle de grande durée, permettrait l'analyse en unités prosodiques. Des capacités de synchronisation de l'attention au rythme de la parole sont pour cela nécessaires, et elles correspondent aux capacités rythmiques de l'individu. C'est pourquoi, en cas de pathologie affectant la prosodie, stimuler les compétences rythmiques en vue d'améliorer la prosodie est une piste à explorer.

2.3 TSA et prosodie

La prosodie dans l'autisme est un sujet de débat depuis des années. Beaucoup d'études se contredisent à ce sujet. Certaines recherches ont montré des différences entre la prosodie des enfants avec TSA et celle des enfants tout-venants, d'autres non. Cependant, il s'agissait surtout d'études perceptives, et d'analyses subjectives. Certaines testaient des personnes avec TSA de haut niveau et d'autres des individus avec un TSA ayant un faible niveau. La majorité des études concernent les adolescents et les adultes, ce qui rend délicat de conclure à propos d'enfants (McCann & Peppé, 2003).

Aujourd'hui, grâce à des études utilisant des mesures objectives, il est avéré que la prosodie fait partie des domaines du langage oral perturbés dans le cadre du TSA (Järvinen-Pasley & Heaton, 2007). Des particularités prosodiques sont relevées, comme une intonation et une accentuation atypiques, un débit de parole rapide et des difficultés de contrôle de l'intensité vocale (Patel et al., 2020). Sur le plan cognitif, les patients avec TSA mobilisent davantage de régions corticales qu'un auditeur sans pathologie pour traiter la prosodie, ce qui reflète des efforts démesurés et peu efficaces. De ce fait, il leur est difficile de focaliser leur attention sur la prosodie et de l'interpréter quand elle véhicule un message implicite (Eigsti et al., 2012).

Ces atteintes peuvent être mises en lien avec les difficultés pragmatiques de cette population. En effet, un déficit de la compréhension de la prosodie de la langue pourrait contribuer aux difficultés en théorie de l'esprit, centrales chez les personnes avec TSA (Baron-Cohen, 1997). Ils sont par exemple souvent en difficulté pour interpréter les émotions transmises dans les phrases à travers le choix des mots, mais aussi les modulations rythmiques et de hauteur qui déterminent la prosodie.

Malgré les difficultés avérées dans le domaine de la prosodie en cas de TSA, ce trouble est souvent négligé en thérapie, alors qu'il pourrait s'agir d'une barrière importante à l'acceptation sociale de ces patients (Shriberg et al., 2001).

3 Réhabilitation de la prosodie

3.1 Le rythme

3.1.1 Les liens rythme, musique et prosodie.

La musique et le langage pourraient être des domaines moins dissociés qu'on ne l'a longtemps cru. Il existe par exemple dans les grandes œuvres des compositeurs de musique des correspondances rythmiques et mélodiques avec leur langue maternelle (Patel et al., 2006). Des études montrent des similitudes entre les traitements cognitifs de la musique et du langage. Par exemple, des recherches montrent des liens forts entre la perception de la prosodie et la perception musicale, un point commun entre les deux étant la nécessité d'une sensibilité au rythme (Hausen et al., 2013). Sur le plan perceptif, la musique et le langage ont longtemps été considérés et étudiés de manières indépendantes sur le plan des activations cérébrales, alors que celles-ci se recouvrent partiellement. Certaines aires cérébrales s'activent de la même manière, que l'on écoute de la musique ou une personne parler : une partie du cortex frontal, le cortex moteur, les régions temporales et pariétales droites.

Ces activations cérébrales similaires peuvent être mises en lien avec des similitudes observées sur le plan acoustique (variations de hauteur et timbre/prosodie, tempo et rythme/syllabation) et sur le plan de l'organisation structurelle (note/phonème, accord/mot, structure musicale/syntaxe) (Tillmann & Schön, 2014).

3.1.2 Les influences du rythme sur les compétences cognitives.

La perception du rythme implique l'activation d'aires corticales et sous-corticales (ganglions de la base, aire motrice supplémentaire, cortex auditif, cortex prémoteur et cervelet) permettant les traitements temporels (Bharathi et al., 2019). L'activité de ces aires tend à se synchroniser, c'est-à-dire qu'un ajustement temporel se produit entre les rythmes cérébraux (oscillations cérébrales) et entre ces rythmes internes et celui

du flux de parole. Ces synchronisations permettraient à des aires cérébrales éloignées de constituer transitoirement un réseau, par exemple ici pour analyser la parole.

Un tel réseau permet la régulation des traitements temporels. Cela consiste à distribuer l'attention (i.e. les ressources de traitement) de façon adaptée au rythme du signal, pour le segmenter et anticiper des unités d'information. Goswami (2011) présente un cadre de réflexion basé sur ces idées dans le modèle TSF (Temporal Sampling Framework). Ceci est cohérent avec les données montrant que les personnes présentant un Trouble Spécifique du Langage Ecrit (dyslexie) ou un Trouble Développementale du Langage (TDL ou dysphasie), qui ne traitent pas le langage correctement sur le plan temporel, rencontrent aussi des difficultés à ajuster le battement de leurs mains au rythme musical. Leurs rythmes cérébraux ne tentent de s'ajuster qu'à des rythmes externes très réguliers (Fiveash et al., 2020). La répartition temporelle de l'attention gagne à s'ajuster facilement, rapidement et avec précision, par le biais d'une tendance irrépressible des oscillations cérébrales à se synchroniser aux rythmes externes. Cela permet de découper et analyser l'information, et de délivrer les ressources attentionnelles, fondamentalement cycliques, aux instants les plus adaptés pour traiter le contenu des unités de manière précise.

La stimulation musicale, par la régularité du rythme, est une voie thérapeutique potentielle sur le plan cérébral et cognitif, en vue d'améliorer l'ajustement de l'enfant avec TSA aux structures qu'il pourrait mieux extraire de son environnement (Bharathi et al., 2019).

3.1.3 Amorçage rythmique pour la remédiation de la prosodie.

Puisque la synchronisation de l'attention, et sur le plan neurologique la synchronisation des oscillations cérébrales avec le signal de parole, est souhaitable pour le traitement, il paraît pertinent de favoriser cet ajustement temporel. Pour cela, un dispositif d'amorçage rythmique qualifié de « global » peut être utilisé (Tillmann & Bedoin, soumis). Il consiste à diffuser une musique dotée d'un rythme très régulier et lent avant le signal de parole, en vue de préajuster l'attention temporelle sur un rythme adapté au type de traitement attendu sur une série de phrases à traiter ensuite. Sur la base des théories d'analyse à échelles multiples (Poeppel et al., 2008) et du modèle TSF (Goswami, 2011), l'hypothèse du mécanisme neurologique sous-jacent est que

l'écoute d'un rythme très régulier renforcerait la synchronisation des oscillations cérébrales lentes, supposées guider la diffusion de l'attention pour l'extraction des unités de parole (enveloppes de parole) longues, nécessaires au traitement prosodique et syntaxique des phrases.

Plusieurs expériences basées sur ce principe ont montré qu'une stimulation rythmique musicale à 2 Hz optimise le traitement grammatical d'une série de phrases par des enfants et des adultes sans pathologie, des adultes dyslexiques, des enfants dyslexiques ou avec un TDL, dans plusieurs langues (Bedoin et al., 2016 ; Canette et al., 2020 ; Chern et al., 2018 ; Fiveash, 2020 ; Ladányi et al., 2020 ; Przybylski et al., 2013). L'analyse grammaticale repose en partie sur l'extraction d'enveloppes de parole qui constituent les unités de la prosodie. C'est pourquoi de mêmes amorces à 2 Hz pourraient être utilisées pour favoriser plus directement le traitement prosodique.

De récents mémoires se sont intéressés aux apports de l'amorçage rythmique sur l'apprentissage tardif de la prosodie anglaise chez des adultes francophones, sains et dyslexiques (Boulens, 2021 ; Lecuelle, 2019) et sur la remédiation de la prosodie française chez des enfants avec un TDL (Gastineau, 2021). Les résultats sont prometteurs, cependant, aucune étude de ce type n'a, à notre connaissance, porté sur la remédiation de la prosodie chez les enfants avec un TSA.

3.2 Retour visuel (feedback visuel) pour la remédiation de la prosodie

Afin de favoriser le développement des compétences langagières, il est recommandé en orthophonie d'utiliser plusieurs canaux de communication et de rééducation, notamment les canaux auditifs, kinesthésiques et visuels (Coquet, 2012).

Depuis les années 70, les avancées technologiques ont permis la création de logiciels permettant la visualisation de la courbe mélodique de la voix, ainsi que d'analyseurs, montrant sur un écran d'ordinateur une phrase modèle puis la production de la personne testée (Léon & Martin, 1971). Des recherches ont montré qu'un feedback visuel pouvait aider à acquérir des modèles intonatifs d'une langue (James, 1977). La mise au point d'un dispositif permettant un retour visuel immédiat sur la courbe d'intonation d'un locuteur qui vient de répéter une phrase et sur celle du modèle a plus récemment permis d'utiliser cette technique auprès d'étudiants qui vont devenir enseignants en anglais (Guyot-Talbot et al., 2016).

En orthophonie, les rééducations vocales s'appuient de plus en plus sur l'utilisation d'un feedback visuel (Perriere, 2013), que ce soit chez des adultes (cas de dysarthries) ou chez des enfants (troubles phonologiques) (Sicard et al., 2022). La visualisation du spectrogramme de la parole peut permettre de favoriser la prise de conscience des différents paramètres vocaux de la voix, mais aussi d'accroître la motivation et l'autonomie du patient (Parmentier et al., 2014).

En cas de TSA, plusieurs études ont montré qu'un retour visuel pouvait influencer diverses compétences déficitaires, car cela permettrait au patient de s'ajuster. En effet, les personnes présentant un TSA se situent davantage dans un système d'ajustement et de réaction plutôt que dans un système de prédiction et d'anticipation (Giuliani & El Korh, 2016). Par exemple, leur reconnaissance des expressions faciales émotionnelles est facilitée par un feedback visuel (Grossard, 2021).

4 Réhabilitation de la prosodie chez des enfants avec un TSA

Cette étude a pour objectif d'évaluer les effets d'un outil d'aide à la remédiation visant à améliorer, chez des enfants francophones avec un TSA, la prise en compte d'indices prosodiques, notamment l'intonation sur la dernière syllabe des phrases. L'expérience vise à améliorer le traitement de la différence d'intonation entre les phrases interrogatives et injonctives. Les exercices d'entraînement sont des répétitions de phrases précédées d'amorces rythmiques. Celles-ci sont destinées à préajuster l'attention à un rythme compatible avec la durée d'unités de parole assez longues pour traiter les informations prosodiques (ici l'augmentation ou la baisse de la F0 sur la dernière syllabe). Un retour visuel sur la courbe d'intonation vise à optimiser les effets des exercices. L'effet de ce programme d'1h30 (réparti sur plusieurs séances) est évalué à partir de trois épreuves, l'une proche des exercices (imitation d'un modèle), d'autres plus éloignées pour tester un transfert de compétences (production sans modèle d'intonation ; perception).

II Méthode

1 Population

Quatre enfants ont suivi le protocole expérimental complet. Cinq ont démarré l'étude, mais elle a dû être interrompue pour l'un d'eux (P5) à cause d'une hypersensibilité globale et d'une rigidité cognitive trop importantes pour pouvoir s'adapter au protocole. Les patients ont été recrutés d'octobre 2021 à janvier 2022, en contactant des orthophonistes exerçant en libéral et des structures de soin accueillant des enfants avec un TSA dans le département de l'Ain. Une notice d'information (Annexe A) leur a été envoyée, une convention de recueil de données et une convention de stage ont été signées par les orthophonistes, les structures, les représentants du CFUO de Lyon et l'expérimentatrice, pour chaque patient. Afin de participer à l'étude, les critères d'inclusion des patients étaient d'avoir entre 8 et 13 ans, d'avoir un diagnostic de TSA, d'être oralisant et d'être suivis en orthophonie régulièrement. Le Tableau I synthétise les données démographiques de chacun des participants. L'enfant pouvait quitter l'étude si lui-même ou un des détenteurs de l'autorité parentale le souhaitait.

Tableau 1. Données démographiques des participants

	Sexe	Date de naissance	Age au début du protocole (année;mois)	Classe	Fréquence suivi orthophonique	Lieu de suivi
P1	G	13/12/2011	10 ; 1	scolarisé à la maison (CM1)	1x/ sem (30 min)	Cabinet libéral
P2	G	29/06/2010	11 ; 6	CM2 - ULIS	1x/ sem (1 heure)	SESSAD
P3	G	12/12/2009	12 ; 2	6ème - ULIS	1x/ sem (1 heure)	SESSAD
P4	G	20/12/2013	8 ; 1	CE1	1x/ sem (1 heure)	SESSAD
P5	G	12/12/2011	10 ; 1	CM1 - ULIS	1x/ sem (1 heure)	SESSAD

G = Garçon

2 Matériel

2.1 Matériel technique

Toutes les évaluations et les entraînements ont été effectués individuellement sur le lieu de prise en soin des patients (cabinet orthophonique, SESSAD), au moyen d'un ordinateur portable Dell® avec les logiciels Praat® et OpenSesame®, d'un microphone Audio-Technica® AT2020USB+, d'un casque Beyerdynamic® DT 770 Pro et d'un Iphone 8®.

2.2 Evaluations pré- et post-entraînement

2.2.1 Composition des épreuves d'évaluation de la prosodie.

Les épreuves de prosodie, réalisées aux étapes T1, T2 et T3, étaient celles qui avaient été mises au point pour un précédent mémoire d'orthophonie (Gastineau, 2021). Il s'agissait de trois épreuves : jugement (question/ordre), imitation (question/ordre) et production (sans modèle audio pour l'intonation). Chacune contenait 12 items : six phrases injonctives et six phrases interrogatives de même structure syntaxique.

2.2.2 Phrases des épreuves.

Les phrases des trois tests étaient courtes, leur contenu et leur vocabulaire étaient simples. Elles faisaient référence à des situations d'interactions verbales courantes pour les enfants, telles qu'initiées par un adulte de leur entourage. Afin de limiter l'effet test re-test, les phrases ont été créées par triplets, formant trois listes de structure similaire pour chaque épreuve. Aux trois étapes d'évaluation, une épreuve était proposée avec une liste différente.

2.2.3 Voix utilisée pour les phrases des trois épreuves.

Chaque phrase a été enregistrée en cabine insonorisée par une femme monolingue française. L'intonation était monotone en début de phrase. Seule la dernière syllabe était accentuée, soit par une montée de la F0 (question), soit par une descente de la F0 (ordre). Pour l'épreuve de production, la phrase modèle était sans intonation. Les phrases étaient ensuite égalisées en amplitude.

2.2.4 Les consignes.

Pour chaque épreuve, les consignes étaient expliquées oralement sur la base d'images à l'écran. Pour le jugement et l'imitation, les images représentaient des princesses (pouvant être présentées comme des fées) (Annexe B) : l'une rouge donnant des ordres, l'autre verte posant des questions. Pour l'épreuve de production, l'image d'un robot (Annexe B) correspondait aux phrases sans intonations données à entendre.

2.3 Entraînements

2.3.1 Amorces musicales.

Le musicologue Ph. Lalitte (Université de Bourgogne) a élaboré trois amorces rythmiques différentes de 32 secondes chacune. La musique était jouée sur des percussions avec une pulsation sous-jacente à 2 Hz, saillante et très régulière.

2.3.2 Phrases.

Les phrases composant l'entraînement ont été enregistrées avec la même voix que celle des tests. Elles étaient équilibrées en longueur, complexité syntaxique et vocabulaire (courtes, simples et adaptées aux enfants). Les structures des phrases étaient variées et pouvaient être déclinées en question ou en ordre en fonction de l'intonation (e.g. « tu ranges ta chambre »). Au total, 36 phrases pouvaient être proposées aux patients, séparées en deux séries de 18 phrases. La première moitié composait les entraînements 1 et 3, avec 9 structures syntaxiques différentes énoncées soit sous forme de question soit sous forme d'ordre. La différence entre ces deux sessions était l'accentuation de la prosodie : elle était plus marquée pour l'entraînement 1 que pour l'entraînement 3. La deuxième moitié des items était destinée à l'entraînement 2, avec la même répartition question/ordre et une prosodie accentuée.

2.3.3 Retour visuel.

Une fois que l'enfant avait entendu et répété une phrase dans le casque audio branché à l'ordinateur ou sortant des enceintes, deux courbes d'intonation apparaissaient à l'écran. L'une, en rouge, illustre les variations de la F0 de la phrase-modèle et l'autre, en bleu, illustre les variations de la F0 de la phrase que l'enfant venait de produire pour imiter (Annexe C).

3 Procédure

3.1 Procédure générale de l'étude

Cette étude avait pour but de réaliser, auprès d'enfants avec un TSA, un entraînement

en prosodie, qui avait donné des résultats encourageants auprès d'un groupe d'enfants avec un Trouble Développemental du Langage. Les exercices étaient informatisés et consistaient à entraîner l'enfant à imiter des questions et des ordres, avec des intonations finales respectivement montantes et descendantes. Un feedback sur un aspect acoustique du modèle et de la production de l'enfant, procuré immédiatement après l'imitation, devait inciter l'enfant à percevoir la différence et le guider pour mieux ajuster sa prochaine imitation de la même phrase (chaque phrase était entendue et imitée 3 fois). L'enfant était encouragé à tenter de produire des imitations permettant de mieux ajuster les courbes. Chaque bloc (une phrase-modèle et sa répétition, 3 fois) était précédé de l'écoute d'une amorce musicale rythmique de 32 secondes. L'entraînement était court (1h30 d'entraînement au total, réparties sur 2 ou 3 séances en fonction des modalités de prise en soin des enfants). Ses effets étaient évalués en comparant les performances aux trois épreuves d'évaluation, entre l'étape précédant l'entraînement (T1), après 1h30 de séance de rééducation orthophonique habituelle (T2) et après 1h30 de remédiation via le programme d'exercices avec retour visuel et amorces proposé dans cette recherche (T3).

3.2 Procédure des épreuves d'évaluation

3.2.1 Procédure générale des évaluations.

Chaque phase d'évaluation proposait trois épreuves : jugement, imitation et production. Ces tâches étaient systématiquement présentées dans cet ordre, de sorte que le patient ne débute pas l'évaluation par une production vocale susceptible d'être difficile pour lui. L'épreuve de production étant la plus complexe, elle était proposée en dernier afin d'avoir un gradient de difficulté progressif. Chaque épreuve disposait de trois listes d'items possibles, pour chaque temps d'évaluation (T1, T2 et T3). Au sein de chaque liste, les phrases étaient ordonnées de manière pseudo-aléatoire pour éviter de trop longues successions de questions ou d'ordres et éviter une alternance régulière et prédictible.

3.2.2 Procédure des différentes épreuves.

Lors de l'**épreuve de jugement**, le patient devait décider si la phrase qu'il entendait et qui était issue de l'ordinateur était une question ou un ordre. Pour ce faire, il devait

appuyer sur la touche du clavier correspondante (« x » pour un ordre et « ! » pour une question). La consigne expliquait que la phrase avait été prononcée par l'une des deux princesses (ou fées), dont les images restaient à l'écran et l'enfant devait appuyer sur la touche proche du personnage qui avait probablement produit la phrase : le personnage préalablement présenté comme donnant toujours des ordres, ou celui posant toujours des questions. L'épreuve durait 5 minutes. Pour l'**épreuve d'imitation**, le patient devait répéter les phrases entendues en utilisant la même prosodie. La consigne insistait sur une demande d'imitation et pas une simple répétition. La production de l'enfant était enregistrée. L'épreuve durait 5 minutes. Dans l'**épreuve de production**, le patient entendait une phrase avec une intonation monotone (présentée comme produite par un robot à l'écran). Il devait ensuite répéter la phrase en ajoutant la prosodie en fonction de la princesse (fée) apparaissant à l'écran (question ou ordre). Les productions des patients étaient enregistrées sous format .m4a à l'aide d'un Iphone 8®, puis converties au format .mp3 via le logiciel Convertio®. Le format .wav a permis les analyses sur les spectrogrammes. L'épreuve durait 5 minutes.

3.3 Procédure de l'entraînement

L'entraînement, d'une durée totale d'1h30, était proposé soit en trois séances de 30 minutes, soit en deux séances de 45 minutes, en fonction du lieu de suivi des patients (cabinet libéral ou SESSAD). Ces séances d'entraînement ont été réalisées sur ordinateur grâce à un script programmé sur Praat®. Chaque séance était composée de 18 blocs qui débutaient par 32 secondes d'amorce rythmique. Dans chaque bloc, le patient entendait une phrase qu'il devait répéter en suivant la même intonation. Il obtenait alors immédiatement un retour visuel composé d'une courbe bleue correspondant aux variations de hauteur de sa voix et d'une courbe rouge correspondant aux variations de hauteur de la phrase-modèle. Pour chaque phrase, le patient réalisait trois essais (diffusion de la phrase-modèle et répétition) pour s'ajuster au mieux. Au début de chaque session d'entraînement, le microphone devait être calibré.

3.3.1 Calibrage du microphone.

Afin de calibrer le microphone, le patient devait faire semblant d'être au téléphone avec quelqu'un et parler en posant des questions et en produisant des affirmations/ordres

pendant environ 10 secondes.

3.3.2 Phrases.

Chaque série était organisée de manière pseudo-aléatoire, en faisant se succéder de façon non prédictible les ordres et les questions, les types et les contenus des phrases.

3.3.3 Retour visuel de la production.

Le patient disposait de 500 ms pour répéter la phrase à partir du moment où l'enregistrement était déclenché. Le déclenchement était réalisé par l'expérimentatrice pour s'assurer d'un enregistrement complet et préserver le confort et la concentration de l'enfant en ne lui demandant pas de déclencher lui-même l'enregistrement.

III Résultats

1 Analyse des données

Quatre patients sur les cinq inclus ont suivi l'intégralité du protocole. Au vu de la taille de cet échantillon, les analyses ont été conduites sous la forme de cas individuels, présentés pour chaque épreuve séparément. Pour faciliter la lecture des résultats, ceux-ci sont ainsi présentés en trois parties, une par épreuve. Des statistiques inférentielles ont été réalisées sur les données de chaque participant quand les items pouvaient être considérés comme variables aléatoires (épreuves d'imitation et de production).

Pour la tâche de jugement, les proportions d'erreurs (nombres bruts sur 12) ainsi que les temps de réponse aux trois phases de l'évaluation ont été comparés entre ces phases à l'aide du calcul de l'écart centré réduit.

Concernant les tâches d'imitation et de production, la variable dépendante (VD) était une différence calculée comme : F_0 de la fin du segment de phrase portant le contour intonatif *moins* F_0 du début de ce segment. Le résultat attendu était positif s'il s'agissait d'une question, négatif s'il s'agissait d'un ordre. Les mesures (en Hertz) ont été réalisées manuellement sur les spectrogrammes à l'aide du logiciel Praat®. Pour ces deux tâches, le test non-paramétrique par rangs de Wilcoxon (seuil de significativité, $p \leq .05$) a été effectué à partir des différents items pour chaque patient individuellement

afin calculer l'effet test-retest (T1-T2) et l'effet de l'entraînement (T2-T3). La taille des effets a été estimée pour les effets significatifs ($p \leq .05$) ou approchant de ce seuil ($.050 \leq p \leq .068$) grâce au test de Vargha-Delaney, où ($.56 \leq A \leq .64$) reflète un effet de petite taille, ($.64 \leq A \leq .71$) un effet de taille modérée, et ($.71 \leq A$) un effet de grande taille.

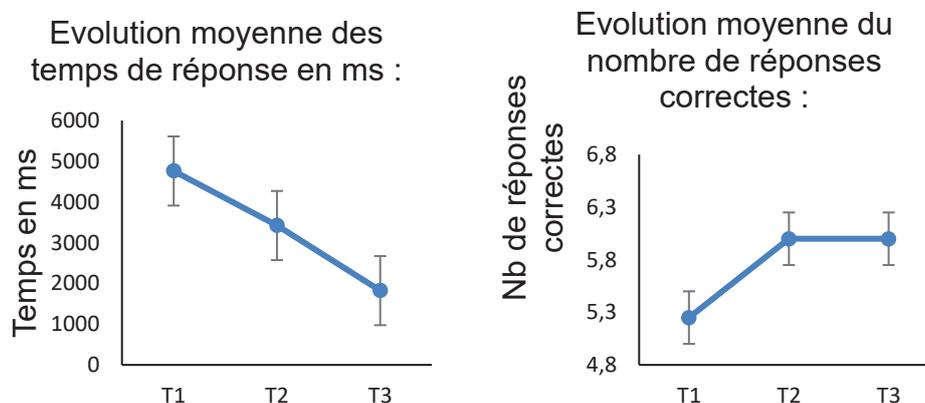
2 Tâche de jugement

Pour chacun des participants, le nombre de réponses correctes donné à l'épreuve de jugement aux T1, T2 et T3 était inférieur au hasard. Il y avait donc un biais vers une certaine réponse (ordre).

L'analyse visuelle de la Figure 1 qui synthétise les résultats des quatre enfants permet de dire qu'entre T1 et T2, le temps de réponse moyen diminuait et le nombre de réponses correctes augmentait. Entre T2 et T3, le nombre de réponses correctes moyen restait stable, mais le temps de réponse diminuait.

Figure 1.

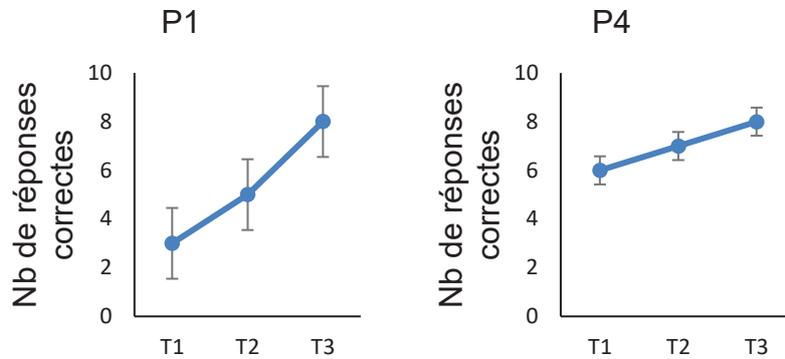
Performances moyennes des 4 patients en vitesse et en exactitude (sur 12) pour l'épreuve de jugement. Erreur-type en barre d'erreur.



La prise en compte des cas individuels montrait que, pour le nombre de réponses correctes, des progrès se produisaient à chaque étape pour les patients P1 et P4, comme l'illustre la Figure 2. Selon la loi normale centrée réduite, P1 présentait des progrès entre les T1 ($P(X \leq -1.606) = 0.054$), T2 ($P(X \leq -0.438) = 0.334$) et T3 ($P(X \leq 1.314) = 0.905$). P4 montrait également des progrès également entre T1 ($P(X \leq 0.146) = 0.556$), T2 ($P(X \leq 0.730) = 0.767$) et T3 ($P(X \leq 1.314) = 0.905$).

Figure 2.

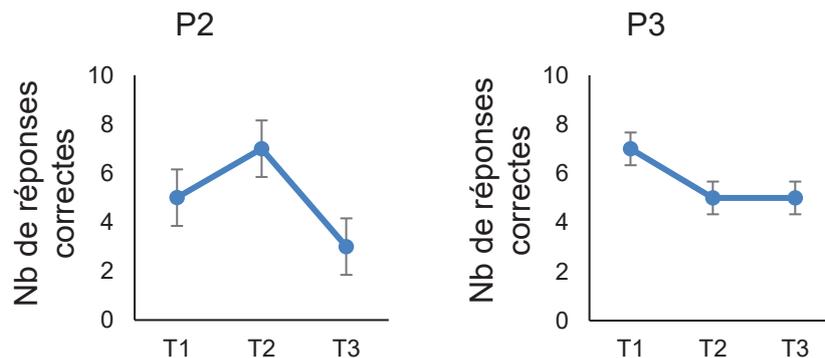
Nombre de réponses correctes (sur 12) à l'épreuve de jugement aux trois phases d'évaluation, pour les patients P1 et P4. Erreur-type en barre d'erreur.



Pour le patient P2 (Figure 3), un progrès se produisait entre T1 et T2 ($P(X \leq -0.438) = 0.334$; $P(X \leq 0.73) = 0.767$) reflétant un effet test-retest. Une chute de l'exactitude se produisait à T3 ($P(X \leq -1.606) = 0.054$). Le patient P3 était plus exact à T1 qu'à T2 et son score se maintenant ensuite à T3, respectivement ($P(X \leq 0.73) = 0.767$; $P(X \leq -0.438) = 0.334$; $P(X \leq -0.438) = 0.334$).

Figure 3.

Nombre de réponses correctes (sur 12) à l'épreuve de jugement aux trois phases d'évaluation, pour les patients P2 et P3. Erreur-type en barre d'erreur.

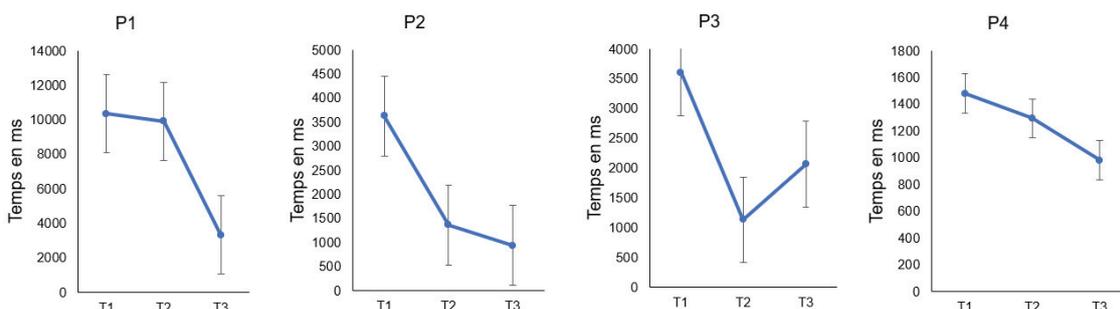


En termes de vitesse comme d'exactitude, les patients P1 et P4 progressaient à chaque étape (Figure 4). Le patient P1 réduisait son temps de réponse entre T1-T3, surtout à travers une réduction entre T2-T3, respectivement ($P(X \leq 2.11) = 0.982$; $P(X \leq 1.97) = 0.975$; $P(X \leq -0.01) = 0.496$). P4 accélérail entre T1 et T2, puis entre T2 et T3 ($P(X \leq -0.56) = 0.288$; $P(X \leq -0.61) = 0.271$; $P(X \leq -0.71) = 0.239$). P2 réalisait aussi des progrès à chaque étape, avec une accélération entre T1 et T2, signe

d'un effet test-retest, mais encore une réduction à T3, respectivement ($P(X \leq 0.09) = 0.536$; $P(X \leq -0.59) = 0.278$; $P(X \leq -0.72) = 0.236$). En revanche, le patient P3 accélérât seulement entre T1 et T2 ; son temps augmentait entre T2 et T3 ($P(X \leq 0.08) = 0.532$; $P(X \leq -0.66) = 0.255$; $P(X \leq -0.38) = 0.352$).

Figure 4.

Temps de réponse en millisecondes moyens à l'épreuve de jugement aux trois phases d'évaluation pour les quatre patients. Erreur-type en barre d'erreur.

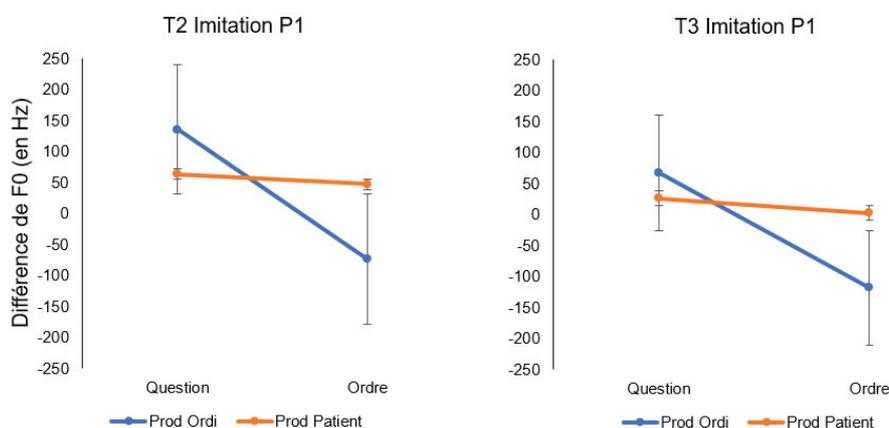


3 Tâche d'imitation

Aucun des quatre patients n'a fait de progrès significatif entre T1 et T2. Il n'y a donc pas eu d'effet test-retest pour la tâche d'imitation. Un seul patient (P1) a réalisé un progrès à l'issue de l'entraînement (entre T2 et T3). Il s'agissait d'une accentuation de la baisse finale du F0 à la fin des ordres : ce progrès était marginal, mais de grande taille ($V = .20$, $p = .063$, $A = 0.778$).

Figure 5.

Différence de F0 pour les questions et les ordres à T2 et T3 pour P1 (courbes oranges) et les phrases modèles (bleu). Erreur-type en barre d'erreur.



Pour les patients P2, P3 et P4, il n'y avait pas d'effet significatif d'étape sur l'intonation finale (différence de la F0 entre début et fin de la partie censée porter sur l'intonation), que ce soit pour les questions, les ordres, ou la différence entre ordres et questions.

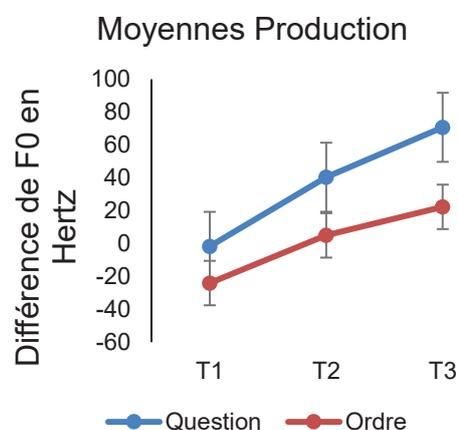
L'analyse visuelle des résultats des trois patients ayant pu réaliser cette épreuve à T1 (Annexe D) indiquait des différences inter-individuelles élevées dans l'écart prosodique entre les questions et les ordres à T1. En effet, dès T1 des intonations très distinctes et adaptées pour les questions et les ordres étaient produites en imitation par P2 ($V = 21, p = .031$) et P3 ($V = 21, p = .031$). En revanche, P4 ne produisait que des intonations descendantes, pour les questions et les ordres ($V = 16, p = .313$).

4 Tâche de production

Pour la tâche de production, les moyennes des pentes des F0 de la fin des phrases portant l'intonation des quatre patients montraient que la hauteur de la voix montait de plus en plus en fin de question au fil des étapes d'évaluation (en bleu sur la Figure 6). La même tendance se produisait pour les ordres (en rouge sur la Figure 6) : la voix baissait en fin de phrase à T1, ne baissait plus à T2 et montait un peu à T3. Toutefois, pour les ordres, cette modification progressive était de moindre ampleur et, de ce fait, la différence entre l'intonation des questions et des ordres s'accroissait entre T1 et T2, puis entre T2 et T3. Notons aussi que, à T1, les patients n'avaient pas d'intonation en fin de question, alors qu'ils baissaient déjà la hauteur de la voix à la fin des ordres.

Figure 6.

Fréquences fondamentales moyennes entre début et fin du segment intonatif des questions et ordres à T1, T2 et T3. L'erreur-type est en barre d'erreur.

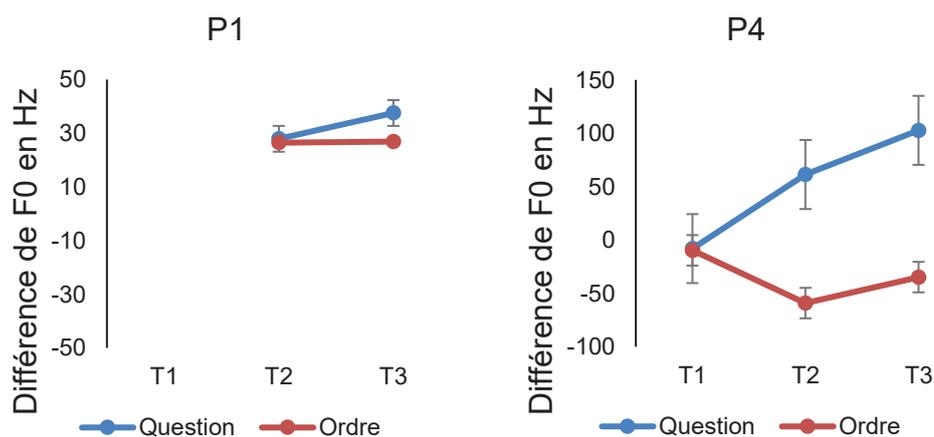


Les données du patients P1 n'étaient pas quantifiables à T1, il était alors totalement en échec : il répondait par oui/non à chaque phrase modèle. Les productions réalisées entre T2 et T3 n'évoluaient pas significativement, malgré un léger progrès observé sur la Figure 7 pour les questions. A T2, il n'y avait pas de différence entre le changement final d'intonation pour les questions et les ordres ($V = 10, p = 1$), et la différence qui se dessinait dans le sens attendu à T3 n'était pas significative ($V = 13, p = .688$).

La configuration des résultats de P4 était la plus proche de ce qui était attendu. Il a élevé la hauteur de sa voix en fin de question entre T1 et T2, de manière cependant non significative ($V = 4, p = .219$), et une élévation de sa hauteur apparaissait aussi entre T2 et T3 (Figure 8), mais n'était pas significative ($V = 8, p = .688$). Ces progrès donnaient lieu à une tendance proche du seuil de significativité entre T1 et T3 ($V = 1, p = .063, A = .194$). L'élévation de la hauteur de voix à T2 et encore plus à T3 était spécifique aux questions, les ordres étant produits à T2 et T3 avec une intonation descendante. Pour P4, il n'y avait pas de différence d'intonation entre les questions et les ordres à T1 ($V = 10, p = 1$), mais cette différence se dessinait dans le sens correct à T2 ($V = 3, p = .156$) et s'accroissait pour devenir significative à T3 ($V = 0, p = .031, A = .25$).

Figure 7.

Amplitude de la différence de F0 pour les phrases interrogatives et injonctives aux 3 phases d'évaluation pour la tâche de production, pour les patients P1 et P4. L'erreur-type est en barre d'erreur.



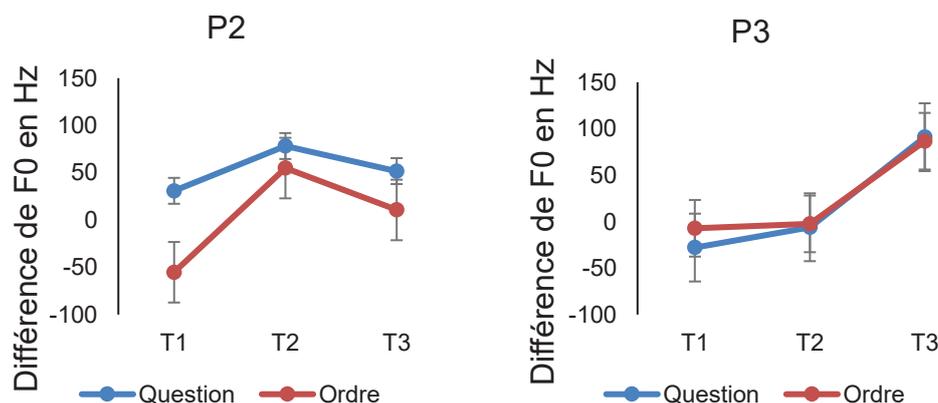
Après l'entraînement (T2-T3), un patient sur quatre (P3) faisait des progrès significatifs (mais de petite taille) pour l'intonation des questions ($V = 0, p = .031, A = 0$) et pas en effet test-retest (T1-T2) ($V = 4, p = .219$) (Figure 8). Cependant, cela ne l'amenait pas

à mieux distinguer questions et ordres dans ses productions à T3, puisqu'il élevait aussi la hauteur de sa voix à la fin des ordres entre T2 et T3, de manière toutefois non-significative et l'effet était de petite taille ($V = 4$, $p = .219$, $A = .333$).

Pour le patient P2, les modifications d'intonation entre les étapes ne conduisaient pas à établir une différence plus grande entre les questions et les ordres. Cette différence était dans le sens typique à T1, mais n'atteignait pas le seuil de significativité ($V = 17$, $p = .219$). Faire l'épreuve une deuxième fois, à T2, ne lui apportait pas de bénéfice mais modifiait ses productions en l'amenant à monter la hauteur de sa voix indifféremment à la fin des questions et des ordres. La hauteur de sa voix tendant ainsi à s'élever entre T1 et T2 pour les ordres, ce qui n'était pas conforme au but des exercices ($V = 1$, $p = .063$, $A = .167$), mais l'effet était de petite taille. Ce changement d'intonation incorrect pour les ordres s'est atténué à T3 où l'intonation des questions restait montante alors que celle des ordres redescendait. Ce changement constituait une certaine amélioration par rapport à ce qui se produisait en refaisant l'épreuve sans entraînement entre les deux (T1-T2).

Figure 8.

Amplitude de la différence de F0, pour les phrases interrogatives et injonctives, aux 3 phases d'évaluation pour la tâche de production, pour les patients P2 et P3. Erreur-type en barre d'erreur.



IV Discussion

1 Recontextualisation

L'objectif de cette étude-pilote était d'évaluer auprès de quelques enfants avec TSA l'impact d'un nouveau type d'exercice d'aide à la remédiation de la prosodie. Les

variations de la fréquence fondamentale (F0) participent à la prosodie et permettent de différencier les deux types de phrases étudiées : la hauteur de la voix (F0) s'élève à la fin des questions et baisse à la fin des ordres. Percevoir et produire correctement ces intonations participe à l'adaptation au cours des échanges. Or, les compétences prosodiques sont souvent déficitaires en cas de TSA (Järvinen-Pasley & Heaton, 2007). L'entraînement proposé était bref : 1h30 en deux ou trois séances et sans explication de règles d'intonation. Les enfants devaient imiter des phrases-modèles (questions ou ordres). L'écoute et l'imitation d'une phrase se faisaient trois fois et étaient à chaque fois suivies d'un retour visuel sur la différence entre la courbe d'intonation de leur production et celle du modèle, pour leur permettre de réajuster leurs productions. Une amorce rythmique précédait chaque série de trois imitations. En effet, des recherches montrent qu'un amorçage rythmique peut améliorer les capacités de jugement grammatical (e.g. Bedoin et al., 2016, 2018; Przybylski et al., 2013). Or, l'analyse syntaxique est fortement liée à la perception de la prosodie. De plus, des données suggèrent que la stimulation musicale, par la régularité du rythme, pourrait améliorer l'ajustement des enfants avec TSA aux structures langagières (Bharathi et al., 2019). De ce fait, il était attendu que les patients apprennent implicitement les règles intonatives distinguant les phrases interrogatives et injonctives à la suite de l'entraînement. Ils devaient ainsi imiter des questions et des ordres en utilisant des intonations plus distinctes après l'entraînement qu'avant celui-ci. Cette compétence pourrait se transférer à une tâche de production sans modèle intonatif et à la perception de la différence question/ordre. Pour cela, trois évaluations ont été réalisées : avant l'entraînement (T1), après 1h30 de prise en soin orthophonique habituelle pour évaluer l'effet test-retest (T2) et après 1h30 d'entraînement (T3).

Les résultats seront synthétisés et discutés au regard de la littérature scientifique, en lien avec les mécanismes cognitifs sous-jacents et les spécificités des enfants avec TSA.

2 Déficiences prosodiques chez des enfants avec un TSA

Les performances aux trois épreuves de T1 confirment le caractère atypique de l'intonation déjà documenté en cas de TSA (Patel et al., 2020). La moyenne calculée sur les changements de la F0 en fin de phrase permet de préciser que la production d'ordres (tâche de production) s'accompagnait tout de même d'une baisse de hauteur

de la voix à la fin de l'ordre (-24 Hz), alors qu'il n'y avait pas de changement de hauteur pour les questions (-1 Hz). La production d'une intonation adaptée pour les questions est donc particulièrement inadaptée en moyenne pour les quatre patients.

Lorsqu'un modèle intonatif était donné avant la production (tâche d'imitation), l'intonation perçue était prise en compte en moyenne par les patients, puisqu'il y avait toujours une baisse du F0 (-33 Hz) pour les ordres et une élévation du F0 se produisait pour les questions (63 Hz). Les enfants avec TSA de l'étude avaient donc des difficultés à générer spontanément l'intonation adaptée des phrases interrogatives/injonctives, mais ils ont mobilisé leurs capacités d'imitation dans l'épreuve qui fournissait un modèle. Ils percevaient donc les modulations de la F0 dans ces modèles.

L'épreuve de jugement montre toutefois que la perception de la différence entre un ordre et une question avec l'intonation pour seul indice était souvent source d'erreurs, avec une réussite dans seulement 44% des jugements. Les changements de la F0 sont donc perçus, puisqu'imités, mais mal interprétés sur le plan sémantico-pragmatique. Se fonder sur les capacités d'imitation de ces enfants semble ainsi une idée à retenir pour la remédiation, mais cela reste insuffisant, compte-tenu du déficit évident d'interprétation pragmatique et sociale entre les concepts de question et d'ordre dans la tâche de jugement.

3 Effets de l'entraînement prosodique

Deux enfants sur quatre (P1 et P4) ont significativement progressé après l'entraînement, avec même un transfert de compétences en production sans modèle intonatif et un transfert en perception.

3.1 Epreuve d'imitation

L'épreuve d'imitation était la plus proche des exercices d'entraînement proposés, mais portait sur des phrases différentes. Elle était la seule à ne pas susciter d'effet test-retest chez les enfants de l'étude. Un progrès observé après l'entraînement était, grâce à cela, intéressant. Il ne s'est cependant produit que chez un patient (P1), celui qui était le plus en difficulté lors de l'évaluation initiale. Son progrès n'était pas dû à un biais à cause de cet échec initial, car l'effet de l'entraînement était évalué entre T2 (où il avait compris la tâche) et T3 (après l'entraînement). Il s'agissait d'une production

plus adaptée de l'intonation des ordres.

Pour P2 et P3, les bonnes performances initiales (T1) en imitation, très proches du modèle intonatif avec une ample différence de la F0 entre le début et la fin de l'intonation finale laissaient peu de marge pour des progrès à la suite de l'entraînement. La réussite de ces patients dans la tâche d'imitation ne nécessitait pas de comprendre le message ou de l'interpréter. Contrairement aux deux autres épreuves, l'imitation ne faisait pas entrer en jeu la théorie de l'esprit et les compétences relatives aux interactions sociales, déficitaires en cas de TSA (Baron-Cohen, 1997; Lai et al., 2012). L'imitation pouvait être réussie en mobilisant des compétences très élémentaires sur le plan cognitif.

3.2 Epreuve de jugement

Les résultats de l'épreuve de jugement apportaient des indices d'une certaine amélioration des compétences en réception après l'entraînement. L'évolution de la moyenne des performances du petit groupe montrait en effet que, au-delà des progrès en exactitude et en vitesse dus à l'effet test-retest (entre T1 et T2), les réponses s'accéléraient encore entre T2 et T3, sans que cela se fasse au détriment de l'exactitude qui restait stable. La composante perceptive dans les exercices d'entraînement a, semble-t-il, été d'une certaine efficacité pour interpréter l'intonation. Cette configuration des résultats moyens s'expliquait essentiellement par l'effet bénéfique de l'entraînement chez deux patients : P1 et P4. Tous deux progressaient en vitesse et en exactitude entre T1 et T2, et progressaient encore après l'entraînement (T3). L'amélioration après l'entraînement portait sur l'exactitude des jugements et la vitesse de réponse. P1 et P4 s'amélioraient ainsi pour catégoriser en question/ordre sur la seule base des indices intonatifs et devenaient plus sûrs d'eux dans leurs interprétations après l'entraînement.

Le patient P3 a accéléré entre T1 et T2 mais au prix d'une baisse d'exactitude : l'effet test-retest semble l'avoir rendu plus impulsif dans ses réponses. Après l'entraînement, sa chute de performance s'est stabilisée et il répondait plus lentement, ce qui est souvent signe de réponses plus réfléchies, dans ce type de configuration. Il n'est cependant pas possible de parler ici de progrès, le score de P3 reste faible (42% de réussite) et il est donc en grande difficulté et peu réceptif à l'entraînement.

Dans le cas de P2, un effet positif de répétition test-retest s'est produit sur l'exactitude

et la vitesse de réponse, mais après l'entraînement un phénomène d'échange rapidité-exactitude empêche l'interprétation. L'entraînement ne l'aidait pas vraiment.

Les progrès de deux patients sur quatre après l'entraînement ne permettent pas de conclure, mais sont tout de même encourageants. Un des patients (P1) qui progressait déjà en imitation (production), transférait ici ses compétences en réception. Ce type de transfert est censé témoigner d'un apprentissage non superficiel. Les progrès de P1 et P4 dans la tâche perceptive sont cohérents avec les bonnes capacités de discrimination de hauteur des sons documentés dans le TSA (Tardif et al., 2002). Réussir dans cette épreuve ne requiert cependant pas seulement de bonnes capacités de traitement acoustique. Il s'agit de catégoriser les deux types d'intonations (montante/descendante) en les associant à des modes d'expressions distincts. Interpréter une phrase comme une question ou un ordre demande de faire appel à des concepts qui relèvent de la cognition sociale, déficitaire dans le TSA. Les progrès réalisés après l'entraînement par P1 et P4 sont donc très encourageants quant à la possibilité de faire progresser des enfants avec un TSA dans un domaine du langage qui leur est particulièrement difficile d'accès.

3.3 Epreuve de production

L'analyse des résultats de la tâche de production, jugée la plus difficile par tous les patients, a révélé que les enfants avec TSA produisaient en moyenne de manière peu distincte l'intonation des questions et des ordres en l'absence de modèle intonatif. Pourtant, un des patients, P4, a progressé après l'entraînement. C'était la seule étape à laquelle il produisait les questions/ordres avec des intonations significativement différentes et dans le sens attendu. Ce patient transférait ainsi les compétences acquises lors de l'entraînement vers une épreuve de production où il n'avait plus de modèle intonatif, tout comme il réalisait un transfert vers l'épreuve de perception. Il s'agit du patient le plus réceptif à l'entraînement.

Le patient P1, qui progressait après l'entraînement dans l'épreuve de jugement et un peu en imitation faisait aussi un tout petit progrès dans cette épreuve de production après l'entraînement.

Pour P2 et P3, des modifications se produisaient au fil des étapes, ce qui laisse espérer que les intonations incorrectes n'étaient pas complètement figées. Cependant,

la configuration des changements ne permet pas de parler de véritables progrès dus à l'entraînement.

La sensibilité des quatre enfants avec TSA à l'entraînement était ainsi hétérogène. L'efficacité de celui-ci pour deux enfants sur quatre est néanmoins encourageante, puisque la tâche requiert un transfert de compétences et la figure représentant les moyennes sur les quatre enfants va dans le sens attendu. Toute conclusion à partir d'un si petit échantillon doit cependant rester extrêmement prudente.

4 Limites et perspectives

4.1 Population et différences inter-individuelles

Cette étude incluait cinq patients avec un TSA, mais l'un d'eux n'a pas fait l'ensemble du protocole pour des raisons d'indisponibilité cognitive. La petite taille de l'échantillon est une limite évidente. Le recrutement a été difficile, car il s'agit d'une population fragile. La crise sanitaire a ralenti l'obtention des consentements des parents qu'il fallait de convaincre pour la participation à un protocole court, mais relevant de la remédiation. La tranche d'âge a dû être élargie (8-13 ans au lieu de 7-10 ans), et les profils étaient très hétérogènes, comme souvent en cas de TSA.

4.1.1 Sensorialité.

Au cours des passations, plusieurs patients ont ponctuellement manifesté une gêne due à des réactions exacerbées aux stimuli visuels et auditifs. Il s'agit d'une caractéristique du TSA, et cela ne s'était pas produit avec les enfants TDL (Gastineau, 2021). Un enfant avec un TSA sur cinq présenterait une hyperacousie et des réactions exagérées aux sons (Bruneau et al., 1999 ; Tardif et al., 2002). Un des patients de l'étude (P1) se bouchait par exemple les oreilles pendant les amorces. Par ailleurs, pour l'un des enfants (P5), l'évaluation à T1 a été proposée deux fois, mais sans succès : il était à la recherche de sur-stimulations sensorielles (bascule en arrière, jeux de lumière avec une visière de protection). Le protocole a dû être stoppé. La conduite d'entraînements perceptifs avec les enfants avec TSA rencontre ainsi des obstacles liés à l'hypersensibilité sensorielle. Réaliser un profil sensoriel des patients avant l'inclusion serait utile.

4.1.2 Région et accent.

En France, il existe des accents régionaux, « ensemble de traits de prononciations qui affectent les voyelles, les consonnes ou la prosodie, et qui permettent d'identifier le profil de la personne qui les emploie » (Candea, 2021). Le patient P4 parlait avec un accent. Il rajoutait un [ø] final descendant si la phrase finissait par une consonne (accent méridional). De ce fait, pour les questions finissant par une consonne, il produisait une intonation montante sur l'avant-dernière syllabe et ajoutait un [ø] descendant qui biaisait la mesure de l'intonation - pourtant perçue comme montante - de ses questions. Dans de tels cas, les mesures doivent privilégier le pic intonatif le plus haut dans le segment intonatif final des questions et le plus bas pour les ordres.

4.2 Cadre

4.2.1 Lieu de suivi, moment et durée des séances.

Le protocole a été proposé aux patients dans des circonstances hétérogènes. P1 était suivi en libéral, 30 mn par semaine en début d'après-midi. P2 était vu au SESSAD, 45 mn le lundi soir après l'école. P3 a été vu à domicile pour le T1, puis au collège dans une salle mal insonorisée, 45 mn en milieu d'après-midi. Enfin, P4 était suivi au SESSAD, 45 mn, le matin. Les performances aux épreuves étaient plus élevées pour les patients suivis dans un lieu calme, à un moment de la journée où ils n'étaient pas fatigués et lorsque les séances étaient courtes. Proposer ce protocole sur une plus longue durée, avec des séances courtes, pourrait optimiser les effets en mobilisant mieux l'attention des enfants.

4.2.2 Consignes et format du protocole.

La compréhension des consignes a nécessité des adaptations, notamment plusieurs exemples oraux (hors ordinateur), principalement pour les épreuves Imitation et Production. Malgré tout, une fois face à l'ordinateur, les enfants avaient des difficultés à respecter la consigne, surtout pour l'épreuve Production. Certains reproduisaient la voix du robot, d'autres n'attendaient pas l'image indiquant s'il devait produire une question ou un ordre. La rigidité cognitive liée au TSA limite sans doute leur capacité à suivre une consigne. Le fait que les images indiquant le type de phrase à dire

représentaient des personnages sollicitait peut-être aussi des compétences en théorie de l'esprit, faible dans leur cas. Pour adapter ce protocole aux enfants avec TSA, les images de princesses/fées gagneraient sans doute à être remplacées par des illustrations neutres (e.g. points d'exclamation et d'interrogation), et plus d'exemples devraient être proposés avec un feedback pour s'assurer de la compréhension des consignes.

La longueur de chaque séance, consacrée à un seul type d'exercice, a parfois posé problème. Certains ont exprimé leur lassitude. D'autres au contraire s'investissaient et exprimaient leur frustration de ne pas pouvoir faire plus de trois essais par phrase. Diminuer le nombre de phrases à imiter par séance semble pertinent pour ce type d'enfants, en leur laissant la possibilité d'imiter chacune un plus grand nombre de fois. Des séances plus nombreuses et plus courtes pourraient aussi être bien reçues et permettraient de passer plus de temps sur l'aspect proprioceptif de la voix.

La gestion de l'impulsivité et de l'inhibition est un autre problème pour l'entraînement de ces patients. Trois d'entre eux (P1, P2 et P3) n'attendaient pas toujours d'avoir vu l'indice pour choisir l'intonation à prendre, malgré les rappels réguliers de la consigne. Beaucoup de productions ne correspondaient pas à ce qui était demandé à cause de cela, ce qui n'est pas représentatif des véritables capacités prosodiques des patients. Les déficits d'inhibition sont controversés dans le tableau clinique des TSA. Certaines études montrent des compétences préservées, alors qu'elles sont déficitaires selon d'autres (Thommen et al., 2017). Cela reflète la grande hétérogénéité des profils de personnes avec TSA. Proposer une tâche de production, en parole spontanée ou dans une tâche de jeu de rôle, par exemple, pourrait permettre d'obtenir davantage d'informations quant aux compétences prosodiques en production des patients. Il faudrait veiller à ce que la consigne requière peu de théorie de l'esprit.

4.3 Amorce rythmique et retour visuel

Alors qu'il n'y a pas de plainte lorsque des enfants sans TSA sont testés, même avec d'autres pathologies, les quatre patients ont commenté les musiques, l'un se plaignant de ne pas la supporter, l'autre de la trouver trop longue ou répétitive. Ajouter une ligne mélodique à l'amorce rythmique pourrait la rendre plus attrayante pour ces patients, bien que cela nuise à l'isolation de la variable étudiée (régularité du rythme). Le retour visuel a été, quant à lui, apprécié par tous les enfants, satisfaits de se comparer au

modèle pour ensuite essayer de faire mieux. Leurs capacités d'ajustement étaient correctes, ils se rapprochaient fréquemment du modèle et comprenaient que c'était le but : ils exprimaient leur satisfaction dans de tels cas. Ceci confirme les compétences d'ajustement et de réaction majoritairement retrouvées dans le cas des TSA, contrairement à un système de prédiction et d'anticipation (Giuliani & El Korh, 2016). Augmenter la fenêtre d'affichage du retour visuel permettrait au patient d'avoir un feedback de toutes ses productions car il est arrivé qu'elles soient coupées. Enfin, ce protocole ne permet pas de faire la distinction entre les apports de l'amorce rythmique et du retour visuel puisque les deux étaient associés en vue d'optimiser les bénéfices possibles, dans cette étude-pilote. L'utilisation conjointe de ces deux appuis thérapeutiques a toutefois permis quelques améliorations en prosodie chez certains enfants avec un TSA.

V Conclusion

L'entraînement proposé avait pour but d'améliorer la compréhension et la production de phrases interrogatives et injonctives chez des enfants avec un TSA. Les exercices incluaient des amorces rythmiques, destinées à favoriser la synchronisation des rythmes attentionnels, et probablement les oscillations cérébrales, au traitement d'unités suprasegmentales (prosodiques). Un retour visuel sur la production de l'enfant devait aussi favoriser ses capacités d'ajustement.

Les résultats ont montré des effets bénéfiques de l'entraînement pour deux patients sur quatre, avec quelques transferts de compétences. Il était cependant difficile de mobiliser les patients pendant les entraînements.

Au vu des liens importants entre les troubles prosodiques présents dans le cadre des TSA et les troubles pragmatiques des patients, la prise en soin de la prosodie en orthophonie est une voie à approfondir afin d'accompagner au mieux ces enfants. Le manque de documentation et d'outils à ce sujet peut freiner les professionnels. Cette étude ouvre une piste de remédiation ayant déjà montré ses effets auprès d'enfants avec un TDL. Elle est encourageante pour les enfants avec un TSA et des ajustements pourraient la rendre plus efficace. Enfin, une perspective est de procéder à l'étalonnage des épreuves d'évaluation pour disposer de normes.

Références

- American Psychiatric Association, A. P. A. (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM-5®)*. American Psychiatric Pub.
- Avanzi, M., Simon, A. C., & Post, B. (2016). La prosodie du français : Accentuation et phrasé. *Langue française*, 191(3), 5-10.
- Barnes, R., & Jones, M. R. (2000). Expectancy, Attention, and Time. *Cognitive Psychology*, 41(3), 254-311. <https://doi.org/10.1006/cogp.2000.0738>
- Baron-Cohen, S. (1997). *Mindblindness : An Essay on Autism and Theory of Mind*. MIT Press.
- Bedoin, N., Besombes, A.-M., Escande, E., Dumont, A., Lalitte, P., & Tillmann, B. (2018). Boosting syntax training with temporally regular musical primes in children with cochlear implants. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 61(6), 365-371. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2017.03.004>
- Bedoin, N., Brisseau, L., Molinier, P., Roch, D., & Tillmann, B. (2016). Temporally Regular Musical Primes Facilitate Subsequent Syntax Processing in Children with Specific Language Impairment. *Frontiers in Neuroscience*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00245>
- Belmonte, M. K., Allen, G., Beckel-Mitchener, A., Boulanger, L. M., Carper, R. A., & Webb, S. J. (2004). Autism and abnormal development of brain connectivity. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 24(42), 9228-9231. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3340-04.2004>
- Bharathi, G., Jayaramayya, K., Balasubramanian, V., & Vellingiri, B. (2019). The potential role of rhythmic entrainment and music therapy intervention for

- individuals with autism spectrum disorders. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 15(2), 180-186. <https://doi.org/10.12965/jer.1836578.289>
- Boulens, M. (2021). *Stimulation rythmique pour l'apprentissage de la prosodie en anglais L2 chez des adultes normo-lecteurs et dyslexiques* [Mémoire de Master 2 de Psychologie]. Université Lyon 2 et Laboratoire CRNL.
- Bruneau, N., Roux, S., Adrien, J. L., & Barthélémy, C. (1999). Auditory associative cortex dysfunction in children with autism: Evidence from late auditory evoked potentials (N1 wave–T complex). *Clinical Neurophysiology*, 110(11), 1927-1934. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(99\)00149-2](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(99)00149-2)
- Candea, M. (2021). Accent. *Langage et société*, HS1, 19-22.
- Canette, L.-H., Fiveash, A., Krzonowski, J., Corneyllie, A., Lalitte, P., Thompson, D., Trainor, L., Bedoin, N., & Tillmann, B. (2020). Regular rhythmic primes boost P600 in grammatical error processing in dyslexic adults and matched controls. *Neuropsychologia*, 138, 107324. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2019.107324>
- Chern, A., Tillmann, B., Vaughan, C., & Gordon, R. L. (2018). New evidence of a rhythmic priming effect that enhances grammaticality judgments in children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 173, 371-379. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2018.04.007>
- Coquet, F. (2012). Multicanalité de l'expression. *Entretien d'Orthophonie*, 97-114.
- de Carvalho, A., Dautriche, I., & Christophe, A. (2016). Preschoolers use phrasal prosody online to constrain syntactic analysis. *Developmental Science*, 19(2), 235-250. <https://doi.org/10.1111/desc.12300>

- de Carvalho, A., Dautriche, I., Lin, I., & Christophe, A. (2017). Phrasal prosody constrains syntactic analysis in toddlers. *Cognition*, 163, 67-79.
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2017.02.018>
- Delattre, P. (1966). Les Dix Intonations de base du français. *The French Review*, 40(1), 1-14.
- Di Cristo, A. (2013). *La prosodie de la parole*. De Boeck Superieur.
- Dodane, C., Martel, K., & Vasconcelos, A. N. D. (2018). Le rôle de la pause dans l'acquisition de la première syntaxe en français. *Langages*, 211(3), 61-80.
- Eigsti, I.-M., Schuh, J., Mencl, E., Schultz, R. T., & Paul, R. (2012). The neural underpinnings of prosody in autism. *Child Neuropsychology*, 18(6), 600-617.
<https://doi.org/10.1080/09297049.2011.639757>
- Fiveash, A. (2020). Rhythmic priming of grammaticality judgments in children: Duration matters. *Journal of Experimental Child Psychology*, 21.
- Fiveash, A., Schön, D., Canette, L.-H., Morillon, B., Bedoin, N., & Tillmann, B. (2020). A stimulus-brain coupling analysis of regular and irregular rhythms in adults with dyslexia and controls. *Brain and Cognition*, 140, 105531.
<https://doi.org/10.1016/j.bandc.2020.105531>
- Gastineau, G. (2021). *Stimulation rythmique et retour visuel pour l'apprentissage de la prosodie chez des enfants porteurs d'un trouble développemental du langage*. Université Claude Bernard Lyon 1.
- Giuliani, F., & El Korh, P. (2016). *Troubles du spectre de l'autisme : Stratégies compensatoires*. 167(4), 125-129.
- Goswami, U. (2011). A temporal sampling framework for developmental dyslexia. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(1), 3-10.
<https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.10.001>

- Grossard, C. (2021). *Evaluation et rééducation des expressions faciales émotionnelles chez l'enfant avec TSA: le projet JEMImE*. 201.
- Hardy, M. W., & LaGasse, A. B. (2013). Rhythm, movement, and autism : Using rhythmic rehabilitation research as a model for autism. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 7, 19. <https://doi.org/10.3389/fnint.2013.00019>
- Hausen, M., Torppa, R., Salmela, V., Vainio, M., & Särkämö, T. (2013). Music and speech prosody : A common rhythm. *Frontiers in Psychology*, 4. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2013.00566>
- Hochmann, J. (2012). Le devenir des idées en pédopsychiatrie, à travers l'histoire de l'autisme. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence*, 60(3), 207-215. <https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2011.11.003>
- James, E. (1977). The Acquisition of Second-Language Intonation Using a Visualizer. *The Canadian Modern Language Review*, 33(4), 503-506. <https://doi.org/10.3138/cmlr.33.4.503>
- Järvinen-Pasley, A., & Heaton, P. (2007). Evidence for reduced domain-specificity in auditory processing in autism. *Developmental Science*, 10(6), 786-793. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2007.00637.x>
- Jones, M. R. (1976). Time, our lost dimension : Toward a new theory of perception, attention, and memory. *Psychological Review*, 83(5), 323-355.
- Lacroix, A. (2016). La prosodie dans tous ses états. *Bulletin de psychologie*, 542(2), 83-85.
- LaCroix, A. N., Blumenstein, N., Tully, M., Baxter, L. C., & Rogalsky, C. (2020). Effects of prosody on the cognitive and neural resources supporting sentence comprehension : A behavioral and lesion-symptom mapping study. *Brain and Language*, 203, 104756. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2020.104756>

- Ladányi, E., Persici, V., Fiveash, A., Tillmann, B., & Gordon, R. L. (2020). Is atypical rhythm a risk factor for developmental speech and language disorders? *WIREs Cognitive Science*, 11(5), e1528. <https://doi.org/10.1002/wcs.1528>
- LaGasse, A. B., Manning, R. C. B., Crasta, J. E., Gavin, W. J., & Davies, P. L. (2019). Assessing the Impact of Music Therapy on Sensory Gating and Attention in Children With Autism : A Pilot and Feasibility Study. *Journal of Music Therapy*, 56(3), 287-314. <https://doi.org/10.1093/jmt/thz008>
- Lai, G., Pantazatos, S. P., Schneider, H., & Hirsch, J. (2012). Neural systems for speech and song in autism. *Brain*, 135(3), 961-975. <https://doi.org/10.1093/brain/awr335>
- Lecuelle, F. (2019). *Evaluation d'aides à l'apprentissage de la prosodie de l'anglais L2 par retour visuel et stimulation rythmique chez des apprenants dyslexiques et non-dyslexiques*. [Mémoire de Master 2 de Psychologie]. Université Lumière Lyon 2.
- Léon, P., & Martin, P. (1971). *Linguistique appliquée et enseignement de l'intonation*. <https://www.proquest.com/openview/656d2206a64ad025187d0e6f03415f69/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1817816>
- Martel, K., Caracci, C., & Normand, M.-T. L. (2020). La prosodie de l'enfant à l'interface de la musique et de la parole. *Enfance*, 4(4), 451-473.
- McCann, J., & Peppé, S. (2003). Prosody in autism spectrum disorders : A critical review. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 38(4), 325-350. <https://doi.org/10.1080/1368282031000154204>
- Nazzi, T., Bertoni, 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.
<https://doi.org/10.1037/0096-1523.24.3.756>
- Orsucci, F., Petrosino, R., Paoloni, G., Canestri, L., Conte, E., Reda, M. A., & Fulcheri, M. (2013). Prosody and synchronization in cognitive neuroscience. *EPJ Nonlinear Biomedical Physics*, 1(1), 6. <https://doi.org/10.1140/epjnbp13>
- Parmentier, F., Marié-Bailly, I., & Pillot-Loiseau, C. (2014). A l'écoute de sa voix : Apports du spectrogramme comme rétrocontrôle visuel en rééducation vocale. *Glossa*, 116, 18-32.
- Patel, A. D., Iversen, J. R., & Rosenberg, J. C. (2006). Comparing the rhythm and melody of speech and music: The case of British English and French. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 119(5), 3034-3047.
<https://doi.org/10.1121/1.2179657>
- Patel, S. P., Nayar, K., Martin, G. E., Franich, K., Crawford, S., Diehl, J. J., & Losh, M. (2020). An Acoustic Characterization of Prosodic Differences in Autism Spectrum Disorder and First-Degree Relatives. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 50(8), 3032-3045. <https://doi.org/10.1007/s10803-020-04392-9>
- Perriere, S. (2013). La voix en images : Comment l'évaluation objectivée par logiciel permet d'optimiser la prise en charge vocale. *Rééducation orthophonique*, 254, 103-119, ISSN 0034-222X.
- Poeppel, D. (2003). The analysis of speech in different temporal integration windows : Cerebral lateralization as 'asymmetric sampling in time'. *Speech Communication*, 41(1), 245-255. [https://doi.org/10.1016/S0167-6393\(02\)00107-3](https://doi.org/10.1016/S0167-6393(02)00107-3)

- Poeppl, D., Idsardi, W. J., & van Wassenhove, V. (2008). Speech perception at the interface of neurobiology and linguistics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1493), 1071-1086. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2160>
- Pronina, M., Hübscher, I., Vilà-Giménez, I., & Prieto, P. (2021). Bridging the Gap Between Prosody and Pragmatics : The Acquisition of Pragmatic Prosody in the Preschool Years and Its Relation With Theory of Mind. *Frontiers in Psychology*, 12. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2021.662124>
- Przybylski, L., Bedoin, N., Krifi-Papoz, S., Herbillon, V., Roch, D., Léculier, L., Kotz, S. A., & Tillmann, B. (2013). Rhythmic auditory stimulation influences syntactic processing in children with developmental language disorders. *Neuropsychology*, 27(1), 121-131. <https://doi.org/10.1037/a0031277>
- Quintin, E.-M. (2019). Music-Evoked Reward and Emotion : Relative Strengths and Response to Intervention of People With ASD. *Frontiers in Neural Circuits*, 13, 49. <https://doi.org/10.3389/fncir.2019.00049>
- Sharda, M., Tuerk, C., Chowdhury, R., Jamey, K., Foster, N., Custo-Blanch, M., Tan, M., Nadig, A., & Hyde, K. (2018). Music improves social communication and auditory-motor connectivity in children with autism. *Translational Psychiatry*, 8(1), 231. <https://doi.org/10.1038/s41398-018-0287-3>
- Shriberg, L. D., Paul, R., McSweeney, 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. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2001/087\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2001/087))

- Sicard, E., Menin-Sicard, A., Michel, S., Barbera, Océane, & Simon, C. (2022). *Etude de cas de pathologies de la parole dans le cadre de la prise en charge orthophonique*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03568182>
- Simon, A.-C. (2004). *La structuration prosodique du discours en français*. <https://dial.uclouvain.be/pr/boreal/fr/object/boreal%3A83652>
- Soltész, F., Szűcs, D., Leong, V., White, S., & Goswami, U. (2013). Differential Entrainment of Neuroelectric Delta Oscillations in Developmental Dyslexia. *PLoS ONE*, 8(10), e76608. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076608>
- Tardif, C., Thomas, K., Gepner, B., & Rey, V. (2002). Contribution à l'évaluation du système phonologique explicite chez des enfants autistes. *Parole*, 21, 35-72.
- Thommen, E., Baggioni, L., & Veyre, A. T. (2017). *Les particularités neuro-cognitives dans l'autisme*. 28, 5.
- Tillmann, B., & Bedoin, N. (soumis). *Pathologies et troubles du développement de l'enfant*. (Dunod).
- Tillmann, B., & Schön, D. (2014). La musique au secours du langage : De l'étude des corrélats neuronaux vers des perspectives de rééducation. *Neuropsychologie et arts*, 177-197.
- Zatorre, R. J., & Belin, P. (2001). Spectral and Temporal Processing in Human Auditory Cortex. *Cerebral Cortex*, 11(10), 946-953. <https://doi.org/10.1093/cercor/11.10.946>

Annexes

Annexe A. Notice d'information	1
Annexe B. Images présentées aux enfants (princesse/fée « ordre » en rouge, princesse/fée « question » en vert et robot sans intonation).....	3
Annexe C. Modèle de retour visuel	4
Annexe D. Figure Imitation P2, P3, P4.....	5

Annexe A. Notice d'information

Notice d'information

Nom de l'étude : Stimulation rythmique et retour visuel pour l'apprentissage de la prosodie chez des enfants porteurs de Troubles du Spectre de l'Autisme

Directeur du mémoire et structure : Nathalie BEDOIN

Contact du directeur de mémoire : nathalie.bedoin@univ-lyon2.fr

Etudiant : Chloé ETHEVE, étudiante en Master 2 Département d'Orthophonie – Institut des Sciences et Techniques de Réadaptation, Université Claude Bernard Lyon 1.

Contact de l'étudiant : chloe.etheve@etu.univ-lyon1.fr / 06.43.32.74.37

Contact Responsable Mémoire au département d'orthophonie (ISTR): memoire.orthophonie@univ-lyon1.fr

Madame, Monsieur,

Nous vous proposons de participer de façon volontaire à un recueil de données sur le traitement de la prosodie permettant la distinction question/ordre en perception et production de parole.

Vous êtes libre d'accepter ou de refuser de participer à ce recueil de données. Si vous acceptez, vous pouvez décider à tout moment d'arrêter votre participation sans donner de justification et sans conséquence particulière.

Vous pourrez prendre le temps pour lire et comprendre toutes les informations présentées ici, réfléchir à votre participation, et poser toute question éventuelle au responsable de l'étude (Le Directeur de Mémoire : Nathalie Bedoin) ou à la personne réalisant le recueil de données (Chloé Etheve).

But de l'étude : Cette étude a pour but de connaître l'importance accordée par les enfants à certains indices prosodiques (variations de la hauteur de la voix) pour interpréter ou produire un contenu de phrase signifiant une question ou un ordre. Cette distinction est connue pour être difficile à faire pour certains enfants et il s'agit d'évaluer ces compétences objectivement à travers 3 courts tests informatisés qui se présentent comme des jeux. Par ailleurs, de courts exercices de répétition de phrases (questions ou ordres) sont proposés et il s'agit d'évaluer leur efficacité en séance d'orthophonie.

Déroulement de l'étude et méthode : Trois courtes épreuves informatisées (total < 25 mn) évaluent les capacités des enfants à produire des phrases adaptées à la différence question/ordre, ainsi qu'à percevoir cette distinction. Ces capacités sont évaluées trois fois : Session 1 avant une période de trois séances d'orthophonie sans exercice sur cette différence ; Session 2 après ces trois séances sans exercice (pour évaluer l'effet test-retest) ; Session 3 après la série d'exercices (réalisée en 3 séances). Les Sessions de tests et d'entraînement s'intègrent dans la prise en charge habituelle de l'enfant et répondent à ses besoins. Les tests de perception visent à évaluer un éventuel transfert de compétence (production → perception) après l'entraînement. Les données recueillies sont comportementales (réussite en catégorisation Question/Ordre en perception, pente du

changement de fréquence fondamentale de la partie intonative finale de la phrase produite. Les exercices d'entraînement consistent à répéter des phrases (questions ou ordres) puis à observer la courbe d'intonation du modèle et la courbe d'intonation de la répétition, toutes deux apparaissant à l'écran immédiatement après la répétition, la tâche étant de réitérer l'écoute et la répétition 3 fois pour chaque phrase en vue d'ajuster au mieux les deux courbes. L'écoute d'une amorce musicale dotée d'un rythme qui s'est déjà avéré efficace pour améliorer le traitement de la parole est proposée avant chaque bloc (3 fois Ecoute du modèle puis Répétition).

Frais : Votre collaboration à ce recueil de donnée n'entraînera pas de participation financière de votre part.

Législation – Confidentialité :

Toutes données concernant votre enfant/parent/... (à préciser) seront traitées de *façon confidentielle*. Elles seront codées sans mention de votre nom et prénom.

La publication des résultats ne comportera aucun résultat individuel.

Les données recueillies peuvent faire l'objet d'un traitement informatisé. Selon la Loi « Informatique et Liberté » (loi n°78-17 du 6 janvier 1978 modifiée), vous bénéficiez à tout moment du droit d'accès, de rectification et de retrait des données vous concernant auprès du responsable de l'étude (le Directeur du Mémoire : Nathalie Bedoin). La collecte et le traitement de données identifiantes ou susceptibles d'être identifiantes s'effectuent dans le respect des normes en vigueur relatives à la protection des données personnelles, notamment les dispositions du règlement (UE) 2016/679 du 27 avril 2016 (« RGPD ») et de la loi n°78-17 du 6 janvier 1978 (loi dite « Informatique et Libertés »).

Vous pouvez formuler la demande d'être informé des résultats globaux de ce mémoire.

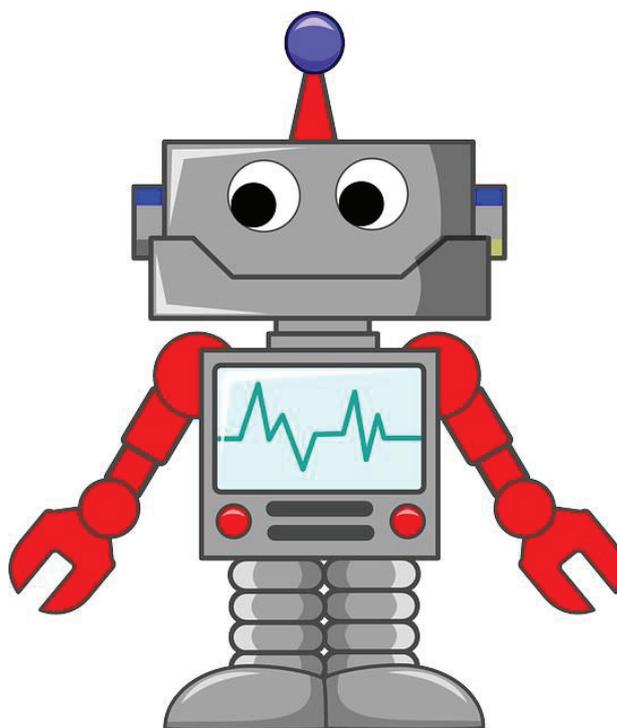
Aucun résultat individuel ne pourra être communiqué.

Bénéfices potentiels : La finalité de cette étude est de mieux comprendre les difficultés que rencontrent certains enfants pour distinguer questions et ordres, l'enjeu étant important sur le plan du développement des interactions sociales de l'enfant et de la mise en place d'une cognition sociale adaptée.

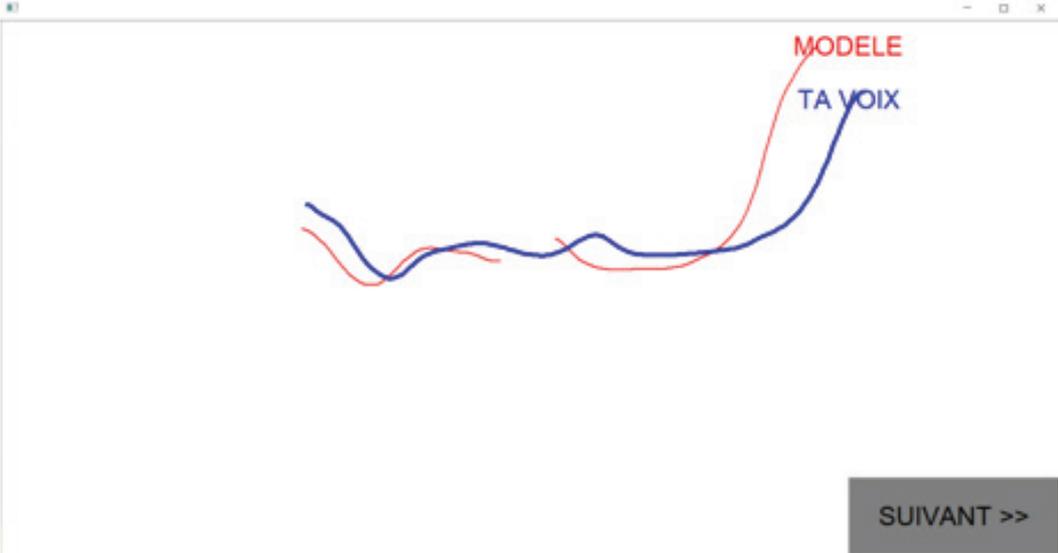
Risques potentiels : Le recueil de données ne présente aucun risque sérieux prévisible pour les personnes qui s'y prêteront. Néanmoins, l'implication dans les exercices nécessite un peu de concentration, comme celle requise lors des séances habituelles de prise en charge de l'enfant.

Nous vous remercions pour la lecture de cette notice d'information !

Annexe B. Images présentées aux enfants (princesse/fée « ordre » en rouge, princesse/fée « question » en vert et robot sans intonation)



Annexe C. Modèle de retour visuel



Annexe D. Figure Imitation P2, P3, P4

Amplitude de la différence de F0 pour les ordres et les questions aux trois étapes d'évaluation pour P2, P3 et P4 (courbes bleues). Les courbes orange représentent les phrases modèles. Erreur-type en barre d'erreur.

