



Faculté des Lettres et Sciences Humaines
Institut des Sciences Logopédiques

Des mécanismes d'apprentissage statistique à la morphosyntaxe chez les jeunes enfants francophones

Thèse par articles
présentée à la Faculté des lettres et sciences humaines
pour l'obtention du titre de docteur·e en sciences humaines et sociales, discipline logopédie

par

Julie Bodard

Sous la direction et la codirection de :

Pré Katrin SKORUPPA, Professeure ordinaire, Université de Neuchâtel, Suisse
Dr Thierry NAZZI, Directeur de recherche CNRS – Université Paris Cité, France

Rapporteur·es externes :

Pr Alex de CARVALHO, Professeur associé, Université Paris Cité, France
Pré Rushen SHI, Professeure, Université du Québec à Montréal, Canada

Soutenue le 1^{er} juin 2026

Déclaration relative à l'usage de l'intelligence artificielle générative

Dans le cadre de cette thèse, des outils d'intelligence artificielle générative (notamment ChatGPT, Claude, Gemini/Google AI et Consensus) ont été utilisés comme supports de travail. Leur usage a porté sur la correction linguistique et la reformulation de passages rédigés par l'auteure, l'exploration bibliographique et l'évaluation préliminaire de la pertinence d'articles scientifiques, ainsi que comme appui ponctuel à certaines phases exploratoires de la réflexion. L'ensemble des contenus, analyses et conclusions demeure le fruit d'une démarche intellectuelle personnelle, dont l'auteure assume l'entière responsabilité.

IMPRIMATUR

La Faculté des lettres et sciences humaines de l'Université de Neuchâtel, sur les rapports de Mme Katrin Skoruppa, co-directrice de thèse, professeure, Université de Neuchâtel ; M. Thierry Nazzi, co-directeur de thèse, directeur de recherche, CNRS, Université Paris Cité ; Mme Rushen Shi, professeure et directrice du groupe de recherche sur le Langage, Université du Québec, Montréal ; M. Alex de Carvalho, professeur associé, Université Paris Des-cartes La Sorbonne autorise l'impression de la thèse présentée par Mme Julie Bodard en laissant à l'autrice la responsabilité des opinions énoncées.

Neuchâtel, le 1^{er} juin 2026

La doyenne
Kristina Schulz

Remerciements

La thèse de doctorat est un travail relativement solitaire, et pourtant, un chemin qui ne se parcourt pas seule. Je remercie chaleureusement toutes celles et ceux qui m'ont accompagnée tout au long de cette aventure.

Mes sincères remerciements vont aux enfants et à leurs familles, sans qui rien n'aurait été possible. Chers parents, merci d'avoir pris du temps sur votre quotidien déjà bien chargé pour venir au Babylab jusqu'à quatre fois. Rencontrer les enfants, les voir grandir, est toujours un privilège et constitue autant de petites bulles d'oxygène dans un travail de thèse. J'adresse également mes remerciements aux crèches et aux pédiatres du canton de Neuchâtel de m'avoir reçue dans la quête laborieuse du recrutement.

Un immense merci à ma directrice et à mon codirecteur de thèse, Katrin Skoruppa et Thierry Nazzi. Katrin, je me souviens encore de notre première rencontre, où tu n'avais pas de poste pour moi, mais où tu m'as offert ton soutien si je souhaitais créer mon propre projet... et nous nous sommes embarquées dans cette thèse et dans la création du Babylab de l'Institut des sciences logopédiques. Thierry, lors de ma première visite à Paris Descartes, tu m'as dit une phrase qui m'a accompagnée tout au long de ces années et des aléas rencontrés, et qui disait en substance : « Prépare-toi à devoir lâcher prise, tout ce que tu planifies ne se déroulera pas comme prévu. » C'est bien ce qui s'est produit ! Merci à vous deux pour le partage de vos connaissances, vos critiques constructives, votre implication, votre disponibilité, votre souplesse, votre soutien et votre bienveillance.

Je remercie également avec chaleur les membres du jury, Rushen Shi et Alex de Carvalho. Rushen, la richesse de vos travaux m'a donné envie de solliciter votre point de vue sur mon travail. Alex, les contacts établis au travers de conférences de l'été 2025 et les échanges à distance sur le futur m'ont convaincue de solliciter votre expertise. Un grand merci à vous deux pour vos relectures attentives et vos commentaires, qui ont nourri ma réflexion et enrichi mon travail jusqu'au bout.

À Marco et Géraldine, mes bons génies de MATLAB ! Ma profonde reconnaissance pour avoir permis à nos expériences d'eye-tracking de voir le jour. Après des mois de lutte et de débogage avec E-prime, vous avez été la lumière au bout du tunnel. Mes remerciements également à Andri de Liri pour son expertise statistique.

Merci Salomé d'avoir enregistré mes longues listes de non-mots, et merci Solène pour avoir prêté ta voix à Lilou. Merci Dahliane d'avoir mis à ma disposition tes talents de

dessinatrice pour créer Uba et son amie, et pour ta patience envers mes demandes de changer une position de main ou une orientation de regard. Mes remerciements également à Amélie, mon assistante-étudiante, pour son aide dans le traitement d'une partie des données et le remplissage d'interminables tableaux Excel.

Une chaleureuse pensée à mes collègues de la chaire de logopédie enfant : Amandine, Dahliane, Élodie, Léa, Letizia, Mélanie, Nuzhat, Salomé, Simone et Solène. Avoir plaisir à venir au bureau (même dans nos « magnifiques » locaux de PAM7) change tout ! Dahliane, Letizia et Salomé, je n'oublie pas votre aide pour sauver mes dernières passations de la première phase, dans un moment critique. Letizia, merci pour ta présence apaisante au bureau d'à côté, ton écoute en tout temps et nos nombreuses discussions académiques et personnelles, tout au long de ces huit années. Salomé, merci pour les échanges, tes conseils avisés dans les moments de doute, les pauses « thé » ou « café » alors que tu ne bois ni l'un ni l'autre et pour les balades de réoxygénation. Dahliane, merci pour les partages académiques et personnels ; camarades dans l'adversité. Mélanie, de Paris à Neuchâtel, merci pour nos échanges riches et joyeux sur la recherche et sur la vie, autour d'une pizza et d'un verre de vin rouge ou sur les chemins du Valais. Amandine, merci pour ta bienveillance et ton soutien moral. Je ne t'oublie pas Marianne, repère dans cette longue traversée ! Merci pour ton écoute, ta disponibilité et tes solutions à tout (ou presque) dans les méandres administratifs de l'université.

Je souhaite aussi mentionner mes collègues de la chaire de logopédie adulte, pour les échanges fructueux au fil des années et les encouragements, ainsi que les collègues de linguistique française et de linguistique appliquée pour la vie au troisième étage et le soutien réciproque.

La thèse ne se cantonne pas au cadre académique, elle prend aussi beaucoup de place dans le reste de la vie... Notre entourage rend aussi possible ce sacerdoce.

Une éternelle gratitude à la Professeure Suzanne Renaud et à son équipe du service de neurologie de l'Hôpital Pourtalès pour m'avoir remise sur pied et de veiller à ce que je m'y maintienne grâce aux bons soins des infirmières de l'ULAM.

Mes sincères remerciements au Professeur Christopher Newman, mon chef dans l'Unité de neuroréhabilitation pédiatrique du CHUV, pour sa compréhension et son soutien pour me permettre d'arriver au bout de cette thèse. Merci également à mes collègues du CHUV (vous me pardonnerez de ne pas toutes vous citer), en particulier à Coralie qui m'a ouvert la porte, ainsi qu'à Roseline et Anh Thu pour m'avoir permis de dégager plus de temps pour finir cette thèse au cours de cette dernière année, en toute sérénité.

À ma famille de cœur ici en Suisse : Amandine, Aude, Camille, Delphine (à qui j'associe EGINE, Amaury et Naya), Hélène, Justine et Ophélie. Merci d'être toujours là, dans les bons moments comme les difficiles, et pour toutes les petites célébrations d'avancées. Mitra et François, vous en faites partie également.

À mes sœurs de thèse, Marie D., Marie E., Ophélie et Amandine ! Merci pour nos séances de « copine-working » au Mucho, à L'Aubier, à Okapi, à CALM et dans différents lieux de l'uni. Vous n'avez pas idée d'à quel point votre présence et vos encouragements ont été précieux.

Tous mes cercles sociaux ont entendu parler de cette thèse ! Merci pour l'écoute, la patience, les espaces de respiration et de vie à mes acolytes du Groupe de Théâtre Antique de l'université de Neuchâtel, de la danse, de l'Épicerie d'à côté et de la cOp d'Azur.

À mes amis de longue date : Magali, Fred, Morgane, Andolin, Coraline et Mélina ; Aurore, Vincent, Côme et Augustin ; Erin, Brody et River, toute mon affection pour votre soutien à distance et pour être venu·es jusqu'à moi dans cette lointaine contrée helvétique. Colette, merci pour le refuge à Champo en période d'écriture et pour qui tu es.

Ma gratitude à ma famille, qui m'a toujours soutenue, même lorsque mes choix leur paraissaient probablement difficiles à comprendre, et qui a subi ma disponibilité réduite. A mon papa, merci pour l'amour et la confiance. Caro, Eliot, Lola et François, merci pour les moments en famille. A Sylvie et Dominique, merci pour votre présence, toujours.

Et enfin, une pensée émue pour ma maman et mes grands-mères...

La réalisation de cette thèse a été possible grâce au financement Doc.CH qui a été octroyé spécifiquement pour ce projet doctoral par le Fonds National Suisse (FN P0NEP1_178712) du 1^{er} août 2018 au 30 septembre 2022. Merci au FNS pour sa confiance.

Résumé

Cette thèse de doctorat examine la sensibilité précoce aux régularités statistiques linguistiques chez de jeunes enfants francophones et explore ses relations avec le développement ultérieur de la morphosyntaxe, dans une perspective à la fois transversale et longitudinale. Ce travail s'inscrit dans les approches contemporaines de l'acquisition du langage qui reconnaissent un rôle vraisemblable à l'apprentissage statistique (AS) dans la construction des représentations linguistiques. Une attention particulière est portée aux dépendances non adjacentes (DNA), qui pourraient jouer un rôle spécifiquement dans l'acquisition de la morphosyntaxe, ainsi qu'aux débats conceptuels et méthodologiques liés à leur étude chez le jeune enfant.

Les objectifs de la thèse étaient d'examiner la sensibilité aux régularités statistiques adjacentes et non adjacentes entre 18 et 27 mois, en langage artificiel et en langue maternelle, de documenter la compréhension et la production de structures morphosyntaxiques du français reposant sur des DNA à 40 mois, et d'explorer les relations transversales et longitudinales entre ces différentes compétences.

La méthodologie repose sur un design longitudinal en trois phases, combinant plusieurs paradigmes expérimentaux adaptés au jeune enfant (tâches de sensibilité, de compréhension et de production élicitée), ainsi que des mesures parentales et standardisées du développement langagier. Les structures ciblées sont l'accord en nombre et les flexions verbales de temps composés en français.

Les résultats ne mettent pas en évidence de sensibilité robuste et systématique aux régularités statistiques aux âges étudiés au niveau du groupe, ni de dissociation claire selon le type de régularité ou de stimulus. Toutefois, certaines dynamiques internes aux tâches et une variabilité interindividuelle marquée suggèrent des apprentissages émergents, difficiles à capter avec des mesures comportementales uniques. À 40 mois, les données révèlent une maîtrise encore émergente et hétérogène des structures morphosyntaxiques étudiées, en compréhension comme en production. Les analyses corrélationnelles montrent des associations limitées et sélectives entre AS précoce et développement morphosyntaxique ultérieur, sans valeur prédictive robuste, bien qu'un lien ciblé émerge entre la sensibilité aux dépendances non adjacentes en langue maternelle à 27 mois et la compréhension morphosyntaxique à 40 mois. Des inversions dans les tendances de patterns de préférences (familiarité versus nouveauté) offrent, quant à elles, des pistes à explorer sur les trajectoires développementales.

En conclusion, cette thèse propose une lecture nuancée du rôle de l'AS dans le développement du langage, en soulignant la complexité de ses manifestations développementales et les limites méthodologiques actuelles pour les étudier chez le jeune enfant. Elle met en évidence la nécessité de paradigmes plus sensibles aux dynamiques non linéaires, de mesures répétées et en ligne, et de designs longitudinaux adaptés. Ces résultats contribuent à nourrir des perspectives de recherche intéressantes, tant sur le plan théorique que méthodologique, ainsi que les connaissances sur la compréhension des trajectoires langagières typiques utiles pour les logopédistes, sans pour autant permettre à ce stade des applications cliniques directes.

Mots-clés : apprentissage statistique, dépendances non adjacentes, développement morphosyntaxique, compréhension, production, flexion verbale, accord en nombre, oculométrie.

Summary

This doctoral thesis examines early sensitivity to linguistic statistical regularities in French-speaking toddlers and explores its relationship with subsequent morphosyntactic development from both cross-sectional and longitudinal perspective. This work is situated within contemporary approaches to language acquisition that recognize a likely role for statistical learning (SL) in the construction of linguistic representations. Particular attention is paid to non-adjacent dependencies (NADs), which may play a specific role in morphosyntactic acquisition, as well as to the conceptual and methodological debates surrounding their study in young children.

The objectives of the thesis were to examine sensitivity to adjacent and non-adjacent statistical regularities between 18 and 27 months, in both artificial language and the native language; to document the comprehension and production of French morphosyntactic structures involving NADs at 40 months; and to explore the cross-sectional and longitudinal relationships between these different abilities.

The methodology is based on a three-phase longitudinal design, combining several experimental paradigms suitable for young children (sensitivity, comprehension and elicited production tasks), as well as parental-report and standardized measures of language development. The French structures investigated include number agreement and verbal inflections in compound tenses.

The results do not reveal robust and systematic sensitivity to statistical regularities at the group level across the ages studied, nor a clear dissociation according to the type of regularity or stimulus. However, certain task-internal dynamics and marked inter-individual variability suggest emerging learning processes that are difficult to capture using single behavioral measures. At 40 months, the data reveal a still-emerging and heterogeneous mastery of the morphosyntactic structures studied, in both comprehension and production. Correlational analyses show limited and selective associations between early SL and subsequent morphosyntactic development, without robust predictive value. Nevertheless, a specific association emerged between sensitivity to NADs in the native language at 27 months and morphosyntactic comprehension at 40 months. Reversals in preference pattern tendency (familiarity versus novelty) also provide avenues for further exploration regarding developmental trajectories.

In conclusion, this thesis offers a nuanced interpretation of the role of SL in language development, highlighting the complexity of its developmental manifestations and the current methodological limitations involved in studying them in young children. It underscores the need for paradigms that are more sensitive to non-linear dynamics, as well as for repeated and online measurements, and appropriately adapted longitudinal designs. These findings contribute to interesting theoretical and methodological research perspectives, as well as to advance knowledge of typical language trajectories relevant for speech and language therapists, although they do not yet support direct clinical applications.

Keywords: statistical learning, nonadjacent dependencies, morphosyntactic development, comprehension, production, verbal inflection, number agreement, eye-tracking.

Table des matières

Table des figures	19
Table des tableaux	21
Liste des abréviations	23
Préambule	25
Contexte scientifique et clinique	25
Évolution du projet de thèse	26
Structure de la thèse	27
1. Introduction théorique	29
1.1. L'Acquisition du langage	29
1.1.1. Développement précoce des composantes du langage	29
1.1.2. La morphosyntaxe : définition et composantes	30
1.1.3. Développement précoce de la morphosyntaxe et sensibilité aux régularités linguistiques	31
1.2. La place de l'AS dans les approches psycholinguistiques	34
1.2.1. Mécanismes d'acquisition du langage	34
1.2.2. Cadres théoriques de l'acquisition du langage	34
1.2.3. Les mécanismes d'AS dans les approches générativistes	35
1.2.4. Les mécanismes d'AS dans les approches constructivistes	37
1.2.5. Les mécanismes d'AS dans les approches émergentistes	38
1.2.6. La place de l'AS dans l'évolution des approches de l'acquisition du langage	38

1.3. Méthodes d'étude du développement du langage chez le jeune enfant	40
1.3.1. Questions théoriques ouvertes et enjeux méthodologiques	40
1.3.2. Principales approches méthodologiques en psycholinguistique développementale	41
1.3.3. L'oculométrie dans l'étude de la sensibilité aux régularités linguistiques	43
1.3.4. Forces et limites des méthodes de sensibilité chez le jeune enfant	44
1.3.5. Enjeux méthodologiques et positionnement de la présente thèse	45
1.4. Mécanismes d'AS et langage oral – Revue narrative	46
1.5. Synthèse et conclusion	70
 2. Objectifs, design de l'étude et cadre méthodologique général	 73
2.1. Objectifs généraux	73
2.2. Objectifs spécifiques et structure du protocole longitudinal	74
2.2.1. Phase 1 — 18 mois : sensibilité précoce aux régularités statistiques	75
2.2.2. Phase 2 — 27 mois : effet de la nature du stimulus et évolution développementale	77
2.2.3. Phase 3 — 40 mois : compétences morphosyntaxiques et relations longitudinales	78
2.3. Cadre méthodologique	80
2.3.1. Choix méthodologiques	80
2.3.2. Participants	82
2.3.3. Matériel	85
2.4. Conclusion	86

3. Sensibilité aux dépendances adjacentes et non adjacentes	89
3.1. Sensibilité aux dépendances non adjacentes en langage artificiel – Note de recherche	90
3.2. Sensibilité aux dépendances adjacentes en langage artificiel	101
3.2.1. Introduction	101
3.2.2. Méthodologie	102
3.2.3. Résultats	104
3.3. Sensibilité aux dépendances non adjacentes en français	106
3.3.1. Introduction	106
3.3.2. Méthodologie	108
3.3.3. Résultats	110
3.4. Discussion	113
3.4.1. Absence d’effet de grammaticalité	113
3.4.2. Rôle des contraintes méthodologiques	114
3.4.3. Implications méthodologiques et perspectives	117
3.4.4. Conclusion	118
3.5. Conclusion	119
 4. Compréhension et production de morphèmes en français	 121
4.1. Introduction	121
4.2. Compréhension et production de dépendances non adjacentes en français : accord en nombre et flexion verbale – Article de recherche	122
4.3. Conclusion	174

5. Exploration transversale et longitudinale des relations entre AS et développement langagier	175
5.1. Introduction	175
5.1.1. Relations transversales	175
5.1.2. Relations longitudinales	177
5.2. Méthode	178
5.2.1. Indices d'apprentissage statistique	178
5.2.2. Mesures morphosyntaxiques expérimentales à 40 mois	179
5.2.3. Mesures développementales issues des questionnaires parentaux et des épreuves standardisées	179
5.3. Résultats	181
5.3.1. Statistiques descriptives	181
5.3.2. Résultats des analyses transversales	183
5.3.3. Résultats des analyses longitudinales	185
5.4. Discussion	190
5.4.1. Relations transversales : limites et portée des associations observées	190
5.4.2. Analyses longitudinales : continuité limitée et effets spécifiques	192
5.4.3. Limites méthodologiques et portée interprétative	194
5.5. Conclusion	195
 6. Discussion générale	 197
6.1. Discussion des résultats au regard des objectifs	197
6.1.1. Sensibilité aux régularités statistiques linguistiques	197
6.1.2. Performances morphosyntaxiques	199
6.1.3. Relations transversales entre AS et développement langagier	201
6.1.4. Relations longitudinales de l'AS précoce avec la morphosyntaxe ultérieure	204

6.2. Limites et portée interprétative de cette thèse	206
6.2.1. Limites des paradigmes comportementaux et de la mesure de l'AS	207
6.2.2. Dynamiques développementales et limites interprétatives des préférences attentionnelles	207
6.2.3. Limites analytiques et statistiques	209
6.2.4. Validité écologique et généralisation des résultats	210
6.2.5. Portée clinique et limites des applications au niveau individuel	211
6.3. Perspectives	212
6.3.1. Amélioration des paradigmes comportementaux	212
6.3.2. Diversification méthodologique : mesures neurophysiologiques	212
6.3.3. Études à grande échelle et puissance statistique	213
6.3.4. Mesure des différences individuelles : enjeux psychométriques et cliniques	214
6.3.5. Interprétation des profils individuels et trajectoires développementales	216
6.3.6. Perspectives sur la morphosyntaxe et l'input linguistique	217
6.3.7. AS, processus cognitifs et acquisition du langage	218
 7. Conclusion générale	 221
 Bibliographie	 223
 Annexe A - Classification du niveau éducatif créée pour l'étude	 239
 Annexe B - Liste des items de la tâche de discrimination de dépendances non adjacentes en français	 240
 Annexe C - Ordre des blocs et des essais en fonction des 4 groupes de participants pour contrebalancements des stimuli auditifs de la tâche de DNA2	 241
 Annexe D - Coefficients g de Hedges individuels aux tâches de sensibilité aux régularités statistiques	 242

Table des figures

Figure 1

Structure générale du protocole longitudinal et articulation des phases et des tâches 75

Figure 2

Distribution et médianes des temps de regard par condition et par bloc à la tâche DA-18m 105

Figure 3

Distribution et médianes des temps de regard par condition de grammaticalité et par condition morphosyntaxique à la tâche DNAfr-27m 111

Figure 4

Diagramme de dispersion de la relation entre la sensibilité à la tâche DNA-18m et le score Combinaison de l'IFDC à 18 mois 184

Figure 5

Diagramme de dispersion de la relation entre la sensibilité aux tâches DNA-18m et DNA-27m 186

Figure 6

Diagramme de dispersion de la relation entre la sensibilité aux tâches DNAfr-27m et de compréhension morphosyntaxique expérimentale 187

Figure 7

Diagramme de dispersion de la relation entre la sensibilité à la tâche DNA-27m et le score Structures complexes DNA-27m 189

Table des tableaux

Tableau 1	
Participants et données incluses selon les phases de l'étude	83
Tableau 2	
Répartition du niveau éducatif des parents	83
Tableau 3	
Structure des grammaires artificielles et items des essais	103
Tableau 4	
Résultats du modèle glmmTMB pour DA-18m	106
Tableau 5	
Exemple de stimuli auditifs de la tâche DNAfr-27 avec le verbe perdre	109
Tableau 6	
Résultats du modèle glmmTMB pour la tâche DNAfr-27	112
Tableau 7	
Normalité de la distribution des variables	182
Tableau 8	
Corrélations de Spearman (non corrigées) entre les tâches d'apprentissage statistique à 18 et 27 mois et les mesures langagières parentales à au même âge	184
Tableau 9	
Corrélations de Spearman (non corrigées) entre les tâches d'AS aux différents âges	186
Tableau 10	
Corrélations de Spearman (non corrigées) entre les tâches d'AS à 18 et 27 mois et les performances aux tâches expérimentales morphosyntaxiques à 40 mois	187
Tableau 11	
Corrélations de Spearman (non corrigées) entre les tâches d'AS à 18 et 27 mois et les mesures langagières parentales à 40 mois	188
Tableau 12	
Corrélations de Spearman (non corrigées) entre les tâches d'AS à 18 et 27 mois et les mesures langagières standardisées à 40 mois	190

Liste des abréviations

3SG	3ème personne du singulier au présent de l'indicatif
3PL	3ème personne du pluriel au présent de l'indicatif
AS	apprentissage statistique
DA	dépendances adjacentes
DNA	dépendances non adjacentes
DT	développement langagier présumé typique
PT	parleurs tardifs
TDL	trouble développemental du langage oral

Préambule

Contexte scientifique et clinique

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'une thèse pour l'obtention du titre de docteur ès sciences humaines et sociales dans le domaine de la logopédie.¹ L'un des principaux champs de compétence des logopédistes est l'acquisition du langage oral, en particulier quand elle est perturbée. Pour repérer ces difficultés et intervenir adéquatement, les logopédistes ont besoin de connaître les trajectoires développementales typiques et atypiques, ainsi que de comprendre au mieux les mécanismes sous-jacents et les facteurs intervenants dans les deux cas. Cependant, les mécanismes sous-tendant l'acquisition précoce du langage sont complexes et encore mal élucidés (Rowland et al., 2025). De plus, les connaissances sur les trajectoires développementales des jeunes enfants francophones peuvent encore bénéficier de l'apport de données supplémentaires. L'objectif général de cette thèse est donc de contribuer à renforcer et à développer des connaissances qui pourront servir aux logopédistes dans leur pratique clinique à terme.

Cette recherche s'intéresse à un type de processus cognitif dont l'implication dans le traitement et l'acquisition du langage est reconnue depuis maintenant plusieurs décennies : l'apprentissage statistique (AS ; Isbilen & Christiansen, 2022). Rapidement, l'enfant comprend et produit un langage complexe sur les plans sémantiques et morphosyntaxiques, sans pouvoir en expliciter les règles sous-jacentes et sans avoir eu l'intention de les apprendre. L'AS est un apprentissage implicite par exposition répétée, basé sur la détection de régularités (Perruchet & Pacton, 2006). Des études montrent que dès le deuxième semestre de vie, les enfants peuvent extraire ces régularités, participant probablement ainsi au développement phonologique (p. ex. Maye et al., 2002), lexical (p. ex. Smith & Yu, 2008) et morphosyntaxique (p. ex. Santelmann & Jusczyk, 1998). Il existe différents types de régularités statistiques, notamment différenciées par leur topologie : les régularités adjacentes (qui se suivent) et non adjacentes (distantes). La sensibilité aux régularités statistiques des dépendances adjacentes (DA) serait étroitement liée au développement du lexique, tandis que la sensibilité aux régularités statistiques plus complexes des dépendances non adjacentes (DNA) permettrait l'acquisition de la morphosyntaxe, notamment de l'accord sujet-verbe (Erickson & Thiessen, 2015). Des

¹ Nous employons dans ce manuscrit les termes *logopédie* et *logopédiste* qui sont les termes officiels utilisés en Suisse romande. Ils sont synonymes respectivement d'*orthophonie* et d'*orthophoniste* (Canada, France, Suisse) ou *logopède* (Belgique).

corrélations ont été observées entre performances à certaines tâches d'AS et différentes compétences langagières chez l'enfant et l'adulte (Arnon, 2020). Des études se sont également intéressées aux capacités d'AS chez des enfants au développement langagier retardé (p. ex. Stokes et al., 2012) ou atypique (Lammertink et al., 2020). Elles observent dans certains cas des différences avec leurs pairs au développement typique (DT), notamment concernant les DNA. Ces résultats nous laissent entrevoir des pistes à développer concernant les différences individuelles. Toutefois, tant à l'échelle du groupe que de l'individu des inconnues et des défis demeurent sur les plans théorique et méthodologique (Siegelman et al., 2017). Nous pourrions notamment bénéficier de plus de données concernant les jeunes enfants francophones, à commencer par ceux présentant un développement langagier typique.

Ainsi, cette thèse vise à explorer les capacités d'AS de stimuli auditifs linguistiques de jeunes enfants francophones en lien avec leur développement langagier, en particulier sur le plan morphosyntaxique, aux âges d'un an et demi, deux ans et trois ans et demi. À notre connaissance, ce projet est le premier à étudier les mécanismes d'AS en lien avec le développement de la morphosyntaxe dès la petite enfance avec un design longitudinal.

Évolution du projet de thèse

Comme dans nombre de projets de thèse, d'autant plus avec un design longitudinal, la structure initiale de l'étude a dû être ajustée, en raison de contraintes techniques (développement du Babylab et implémentation des tâches d'oculométrie/eye-tracking) et organisationnelles, ainsi que de fortes perturbations liées à la pandémie de Covid-19. Le plan d'étude, initialement conçu en quatre phases, a été réorganisé en trois phases pour tenir compte de ces contraintes tout en préservant les objectifs scientifiques principaux. Les âges de passation ont été légèrement décalés et certaines phases ont été regroupées, mais la structure générale du projet a été maintenue.

Sur le plan méthodologique, ces adaptations ont plusieurs implications. Le décalage des âges de passation a réduit la comparabilité directe avec certaines études. Il a également légèrement modifié l'espacement initialement prévu entre les points de mesure, ce qui limite la finesse temporelle de la trajectoire développementale mais permet néanmoins de disposer d'un ensemble de données cohérent et exploitable. La fusion des phases 3 et 4 a conduit à regrouper les mesures morphosyntaxiques expérimentales et standardisées à un même âge (40 mois), ce qui favorise les analyses transversales mais empêche d'examiner les compétences morphosyntaxiques plus précocement et les performances aux tests standardisés à un âge plus

avancé, plus sensible à la détection de difficultés langagières (prévu respectivement à 36 mois et à 42 mois initialement). Les reports successifs ont également pu accroître le risque d'attrition, un phénomène classique dans les études longitudinales.

Toutefois, ces ajustements n'ont pas modifié la logique centrale du projet, qui repose sur la combinaison de mesures transversales et longitudinales et sur un ensemble de tâches ciblant différentes facettes de l'AS et du développement langagier.

Structure de la thèse

Ce travail doctoral se présente sous la forme d'une thèse par articles. Conformément au règlement de la Faculté des lettres et des sciences humaines de l'Université de Neuchâtel, il comprend trois articles (deux publiés et un soumis, dont un rédigé en auteure seule).

Cette thèse est composée de sept chapitres. Le premier chapitre pose le cadre théorique de ce travail. Il offre une vue d'ensemble du développement du langage oral, et plus particulièrement de la morphosyntaxe, en mettant en évidence les premiers liens avec l'AS. Il présente ensuite la place de l'AS dans les principales approches théoriques mobilisées pour rendre compte du développement du langage, puis introduit les méthodes utilisées pour étudier l'AS et l'acquisition du langage au cours du développement. Enfin, cette introduction détaille les mécanismes d'AS et leur relation avec le langage oral à travers un article de type revue narrative. Publié dans une revue scientifique francophone en orthophonie (Glossa), cet article définit les concepts et la terminologie dans le domaine de l'AS, synthétise les connaissances actuelles sur l'intervention de ces mécanismes dans le développement du langage oral typique et atypique et s'intéresse aux liens possibles entre théorie et clinique, tout en discutant les limites et les perspectives dans ces domaines. Le deuxième chapitre présente les objectifs et le design général de cette thèse, et les articule avec la méthodologie en offrant une vision globale de la structure de l'étude et des tâches utilisées. Il aborde également quelques éléments méthodologiques généraux, dont les détails seront ensuite développés dans les chapitres suivants pour chaque tâche. Le troisième chapitre s'intéresse aux mécanismes d'AS. Il présente et discute les résultats de nos trois tâches expérimentales de sensibilité aux régularités statistiques linguistiques adjacentes et non adjacentes (phases 1 et 2 de l'étude), principalement au travers d'un article de type note de recherche (publié dans *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*). Le quatrième chapitre s'intéresse à l'acquisition de la morphosyntaxe, avec des régularités non adjacentes de structure similaire à celles étudiées dans le chapitre précédent — via l'accord en nombre et les flexions de temps composés —, mais cette fois testées en

compréhension et en production (Phase 3 de l'étude). Les résultats sont présentés et discutés dans un troisième article (soumis à *Journal of Child Language*). Le cinquième chapitre présente les analyses corrélationnelles transversales et longitudinales exploratoires entre nos tâches expérimentales, ainsi qu'avec les données de développement langagier recueillies via les questionnaires parentaux et les épreuves standardisées, aux différents âges. Le sixième chapitre propose une discussion générale des résultats obtenus, des limites de cette thèse et de ses perspectives. Et enfin, le septième et dernier chapitre est la conclusion générale de la thèse. Les références théoriques sont présentées à la fin de chaque article, ainsi que dans la bibliographie générale à la fin de la thèse.

1. Introduction théorique

Ce chapitre présente le cadre théorique de la thèse, consacré à l'acquisition du langage oral et au rôle des mécanismes d'apprentissage statistique (AS) dans le développement des compétences linguistiques. Il situe les travaux dans une perspective développementale et psycholinguistique, en articulant les données empiriques sur le développement du langage aux principaux cadres théoriques mobilisés pour en rendre compte. Le chapitre propose d'abord une vue d'ensemble du développement du langage et de l'acquisition de la morphosyntaxe, avant d'examiner les mécanismes d'acquisition du langage et la place de l'AS dans les principales approches psycholinguistiques contemporaines. Il présente ensuite les méthodes mobilisées pour étudier le développement du langage chez le jeune enfant, en mettant en évidence les principaux paradigmes, types de mesures et enjeux méthodologiques associés, ainsi que les limites et les conditions d'interprétation des données recueillies. Il s'appuie enfin sur une revue narrative publiée afin de synthétiser les apports théoriques et empiriques relatifs à l'AS, et se conclut par une synthèse des éléments qui fondent la problématique et les choix méthodologiques de la thèse.

1.1. L'acquisition du langage

L'acquisition du langage chez l'enfant constitue un phénomène remarquable par sa rapidité et son efficacité : entre la naissance et l'âge de quatre ans environ, la majorité des enfants parviennent à maîtriser les structures fondamentales d'un système hautement complexe, sans enseignement explicite et dans des environnements linguistiques très variables. Ce développement repose sur la mise en place coordonnée de plusieurs composantes du langage — phonologiques, lexicales et morphosyntaxiques — qui s'élaborent dans un cadre interactionnel et communicatif, et dont l'acquisition suit des trajectoires partiellement différenciées mais étroitement interconnectées. En raison de sa place centrale dans cette thèse, la morphosyntaxe fera l'objet d'une attention particulière dans les sections suivantes.

1.1.1. Développement précoce des composantes du langage

Le développement phonologique précoce suit une trajectoire cumulative, au cours de laquelle plusieurs composantes émergent et interagissent progressivement. Dès les premiers mois, le nourrisson ajuste sa perception aux contrastes phonétiques de la langue à laquelle il est exposé, tandis que sa sensibilité aux contrastes non natifs diminue graduellement entre 6 et 12

mois (Kuhl, 2004 ; Werker & Tees, 1984). Parallèlement, l'expérience sociale soutient et module ce processus de spécialisation perceptive tout au long de la première année (Kuhl, 2004). Vers 6 à 9 mois, l'entrée dans le babillage canonique marque à la fois la maturation des capacités motrices de production et l'effet structurant des contraintes articulatoires sur les premières productions phonologiques (Vihman, 1996). Ces productions évoluent ensuite vers les premières formes lexicales en fin de première année (Kail, 2020). Avec la croissance du vocabulaire, les représentations phonologiques se restructurent progressivement de manière plus fine et segmentale (Metsala & Walley, 1998 ; Storkel, 2001). Pris ensemble, ces travaux convergent aujourd'hui vers une conception multifactorielle et dynamique du développement phonologique (Vihman, 2014 ; Werker & Curtin, 2005).

Le développement lexical s'amorce autour de 12 mois avec l'apparition des premiers mots, suivi d'une phase de croissance accélérée au cours de la deuxième année, souvent décrite comme une explosion lexicale. À 24 mois, les enfants produisent en moyenne 300 mots, bien que le développement lexical se caractérise par une forte variabilité interindividuelle (Kail, 2020). L'acquisition du lexique ne se réduit pas à l'accumulation d'items : elle implique une structuration progressive du vocabulaire en catégories sémantiques, l'abstraction du sens des mots et la prise en compte des relations entre formes, référents et contextes d'usage. Ces processus reposent sur l'exploitation des régularités de l'input et sur les capacités de catégorisation de l'enfant.

Les premières compétences morphosyntaxiques émergent précocement en compréhension, avant de se manifester plus tardivement en production. L'apparition des premières combinaisons de deux mots autour de 18 à 24 mois marque l'entrée dans un système combinatoire productif, ouvrant la voie au développement progressif de la complexité syntaxique et du marquage grammatical (voir section 1.1.3).

Enfin, le développement du langage s'inscrit dès les premiers mois dans des interactions sociales structurées, fondées sur des précurseurs tels que l'attention conjointe, l'imitation et l'alternance des tours de rôle, qui soutiennent l'acquisition des composantes linguistiques (Kail, 2020). Les capacités discursives et pragmatiques, étroitement liées aux formes linguistiques, constituent une dimension essentielle de la compétence langagière, sans être détaillées ici.

1.1.2. La morphosyntaxe : définition et composantes

La morphosyntaxe désigne l'ensemble des propriétés grammaticales qui résultent de l'articulation entre la morphologie — qui concerne la structure interne des mots et leurs marques grammaticales — et la syntaxe — qui régit l'ordre et la combinaison des mots au sein

de la phrase (Ud Deen, 2017). Elle comprend notamment les régularités grammaticales portant sur le temps, le nombre, la personne, l'aspect, ainsi que les relations d'accord, qui contribuent à la structuration et à l'interprétation des énoncés.

Dans une perspective développementale, la morphosyntaxe renvoie à la capacité de l'enfant à identifier, pondérer et intégrer des indices grammaticaux de nature diverse, incluant l'ordre des mots, les morphèmes libres (déterminants, pronoms, auxiliaires) et les morphèmes liés (suffixes flexionnels), et à les combiner de manière cohérente pour interpréter et produire des phrases (Kail, 2020). L'acquisition morphosyntaxique implique ainsi la prise en compte conjointe de différents types d'indices linguistiques — morphologiques, syntaxiques et distributionnels — dont l'intégration progressive permet à l'enfant d'accéder à des structures grammaticales de complexité croissante.

Elle ne se réduit donc pas à l'apprentissage isolé de formes grammaticales, mais correspond à la construction progressive d'un système de relations entre différentes unités linguistiques.

1.1.3. Développement précoce de la morphosyntaxe et sensibilité aux régularités linguistiques

Les recherches récentes ont mis en évidence l'existence de sensibilités morphosyntaxiques précoces, observables en compréhension avant l'apparition de productions morphosyntaxiques systématiques. Dès la fin de la première année, les enfants montrent une capacité à détecter certaines régularités structurales abstraites, suggérant que l'apprentissage morphosyntaxique s'appuie sur des mécanismes de traitement précoces, antérieurs à l'émergence des premières combinaisons de mots (Kail, 2020).

En effet, les nourrissons semblent sensibles à des indices statistiques tels que la fréquence des formes linguistiques et les probabilités de cooccurrence entre unités, qu'ils peuvent mobiliser pour segmenter la parole et structurer leurs premières représentations linguistiques (Nazzi et al., 2006 ; Saffran, Aslin et al., 1996). Les mots grammaticaux, caractérisés par leur fréquence élevée et leur distribution régulière dans l'input, constitueraient ainsi des indices particulièrement saillants. Les nourrissons semblent commencer à les segmenter et à les encoder précocement (Shi, 2014). En français, notamment, une sensibilité aux déterminants a été mise en évidence dès l'âge de 6 à 8 mois, même si leurs représentations restent initialement peu spécifiées (Shi et al., 2006).

Cette sensibilité précoce semble s'inscrire dans un processus plus large de catégorisation entre mots fonctionnels et lexicaux, fondé sur des indices distributionnels,

phonologiques et prosodiques (Cruz-Pavía et al., 2021 ; Shi, 2014). Des études suggèrent que, dès l'âge de 14 mois, la présence d'un déterminant peut permettre aux enfants d'anticiper l'occurrence d'un nom, ce qui apparaît compatible avec l'idée d'une exploitation active des régularités de l'input pour inférer certaines relations morphosyntaxiques (Christophe et al., 2008 ; Shi & Melançon, 2010).

Les enfants deviennent alors progressivement capables de combiner plusieurs sources d'information — ordre des mots, mots grammaticaux, prosodie et connaissances lexicales — pour inférer la structure des énoncés et contraindre l'interprétation de mots nouveaux (Christophe et al., 2008 ; de Carvalho, Babineau, et al., 2019 ; de Carvalho, He, et al., 2019).

Certaines acquisitions morphosyntaxiques impliquent en outre le traitement de dépendances non adjacentes (DNA), c'est-à-dire de relations entre éléments linguistiques séparés par du matériel intermédiaire. C'est notamment le cas de l'accord en nombre entre le sujet et le verbe, ou encore de certaines formes de marquage temporel. Plusieurs travaux indiquent que les jeunes enfants peuvent manifester une sensibilité précoce à ce type de relations. À 14 mois, les enfants francophones discriminent des formes grammaticales et non grammaticales impliquant la cooccurrence du déterminant du groupe sujet et la liaison du pronom clitique avec le verbe (par ex., *le garçon il arrive* vs *les garçons il arrive* ; Culbertson et al., 2016). À 17 mois, ils discriminent des formes grammaticales et non grammaticales comportant un déterminant suivi d'un auxiliaire ou d'un modal (par ex., *la coupile va...* vs *les coupiles va...* ; van Heugten & Shi, 2010). Entre 18 et 24 mois, ils sont sensibles à l'accord sujet-verbe marqué conjointement par le déterminant et le suffixe verbal (par ex., *le garçon fait* vs *les garçons fait*), mais uniquement lorsque le verbe est familier, et non lorsqu'il s'agit d'un pseudo-verbe (Nazzi et al., 2011), ce qui suggère un appui important sur les connaissances lexicales existantes.

À partir de deux ans environ, les enfants développent progressivement la capacité à interpréter la phrase simple en mobilisant différents types d'indices morphosyntaxiques. Les trajectoires développementales suggèrent qu'ils s'appuient d'abord sur des indices relativement saillants et généraux, notamment des indices positionnels ou sémantiques (par ex., l'animé/non animé), avant d'intégrer de manière plus systématique des indices morphosyntaxiques spécifiques, comme les marques d'accord ou les morphèmes fonctionnels. La pondération relative de ces indices varie selon les langues, reflétant à la fois la structure de l'input linguistique et l'ajustement progressif des mécanismes d'apprentissage impliqués dans la construction des représentations morphosyntaxiques (Kail, 2020).

Sur le plan de la production, l'émergence morphosyntaxique est classiquement associée à l'apparition des premières combinaisons de deux mots autour de 18–24 mois, suivie d'une augmentation progressive de la complexité des énoncés. Cette progression est souvent décrite à l'aide d'indicateurs tels que la longueur moyenne d'énoncé (LME ; Brown, 1973), bien que ceux-ci doivent être interprétés avec prudence, notamment dans les langues à morphologie riche (Kail, 2020).

À partir de ces premières combinaisons, l'enfant entre dans une phase d'expansion grammaticale entre 2 et 3 ans, caractérisée par une augmentation rapide de la longueur et de la diversité des énoncés. Les productions restent encore elliptiques, mais l'ordre des mots se stabilise et les premiers morphèmes grammaticaux (déterminants, marques de pluriel, débuts de flexion verbale) apparaissent progressivement (Kail, 2020). Cette période correspond également à une multiplication des structures syntaxiques en lien avec l'essor du lexique, ainsi qu'à une forte variabilité interindividuelle chez les enfants francophones (Bassano, 2000 ; Kail, 2020).

Entre 3 et 4 ans, on observe une phase de structuration morphosyntaxique marquée par une stabilisation progressive des accords et une complexification des énoncés. Les phrases s'allongent, les morphèmes grammaticaux deviennent plus systématiques et les premières structures complexes émergent (coordination, subordination), bien que leur maîtrise reste encore en cours d'acquisition (Kail, 2020 ; Ud Deen, 2017).

Pris ensemble, ces éléments suggèrent que le développement morphosyntaxique repose sur l'exploitation progressive de régularités multiples présentes dans l'environnement linguistique, allant de la fréquence des formes à des relations plus abstraites entre unités distantes. Ils convergent ainsi vers l'hypothèse selon laquelle les mécanismes d'AS pourraient contribuer, au moins en partie, à l'émergence des connaissances morphosyntaxiques. La portée exacte de cette contribution demeure toutefois débattue et semble varier selon les phénomènes étudiés, les populations testées et les méthodes employées (Abreu et al., 2023 ; Aslin & Saffran, 2025 ; Saffran, 2020).

Ces constats conduisent à interroger plus directement les mécanismes susceptibles de soutenir l'acquisition du langage, ainsi que la place attribuée à l'AS dans les principales approches théoriques du domaine, objet de la section suivante.

1.2. La place de l'AS dans les approches psycholinguistiques

1.2.1. Mécanismes d'acquisition du langage

Si les trajectoires développementales du langage chez l'enfant sont aujourd'hui relativement bien décrites — du moins pour certaines langues — les mécanismes d'apprentissage qui sous-tendent ces régularités demeurent encore imparfaitement compris (Kail, 2020 ; Rowland et al., 2025).

Dans cette perspective, l'un des enjeux centraux consiste à caractériser les mécanismes impliqués dans le traitement du langage entendu et dans la construction progressive des représentations linguistiques. Plusieurs mécanismes d'apprentissage ont été proposés pour rendre compte du traitement de l'input linguistique et de l'acquisition du langage. Parmi eux, l'AS occupe une place centrale, en tant que mécanisme général d'extraction des régularités de l'input, à différents niveaux de la structure linguistique (Romberg & Saffran, 2010).

D'autres mécanismes contribuent également à la sélection et à la pondération de l'information linguistique, tels que notamment les processus attentionnels, la sensibilité à la fiabilité relative des indices ou les processus prédictifs (par ex., Bates & MacWhinney, 1987). Par ailleurs, l'acquisition du langage s'appuie également sur des mécanismes de structuration par l'interaction, tels que l'apprentissage associatif, le couplage perception-action ou encore l'engagement social (par ex., Kuhl, 2007). Les hypothèses de bootstrapping décrivent enfin comment certaines sources d'information disponibles précocement — prosodie, phonotactique ou lexique émergent — peuvent contraindre et faciliter l'apprentissage de niveaux de représentation plus complexes (par ex., Gleitman & Landau, 1994 ; Morgan & Demuth, 2014).

Ces différents mécanismes ne sont pas mutuellement exclusifs et leur articulation constitue un enjeu central des modèles contemporains de l'acquisition du langage. Dans ce cadre, la place et le statut de l'AS varient selon les approches théoriques, ce qui conduit à examiner plus précisément son rôle dans chacune d'entre elles.

1.2.2. Cadres théoriques de l'acquisition du langage

L'acquisition du langage a donné lieu à l'élaboration de plusieurs cadres théoriques visant à rendre compte des mécanismes impliqués dans la construction des connaissances linguistiques. Historiquement, ces cadres se sont notamment structurés autour de différentes conceptions du rôle respectif des contraintes innées et de l'expérience linguistique dans l'acquisition du langage. Les approches contemporaines ont toutefois globalement dépassé cette opposition stricte, en proposant des modèles dans lesquels les contraintes biologiques, les

capacités cognitives et les propriétés de l'input linguistique interagissent de manière dynamique (voir par ex., Salazar-Orvig, 2019, pour une synthèse des perspectives actuelles).

Dans ce paysage théorique, plusieurs cadres majeurs se distinguent par la manière dont ils conçoivent l'origine et la structuration des connaissances linguistiques. Les approches générativistes postulent l'existence de principes grammaticaux abstraits contraignant l'acquisition du langage, avec la mise en place progressive de paramètres propres à chaque langue à partir de principes grammaticaux universels, la maturation jouant un rôle déterminant dans l'émergence des structures morphosyntaxiques (Chomsky, 1969). Dans cette perspective, l'expérience linguistique joue un rôle dans le paramétrage de ces structures, mais n'en constitue pas la source principale.

Les approches constructivistes et fondées sur l'usage envisagent au contraire le développement du langage comme le résultat d'un apprentissage progressif à partir de l'input, reposant sur des capacités cognitives générales telles que la catégorisation, l'analogie et la détection de régularités. Les connaissances linguistiques émergent ainsi de l'abstraction de schémas à partir des usages observés et des interactions communicatives (Tomasello, 2007).

Les approches émergentistes, souvent associées aux modèles connexionnistes, proposent une modélisation computationnelle de ce processus de construction progressive. Elles décrivent l'acquisition comme le résultat d'ajustements graduels dans un système sensible aux régularités statistiques de l'input, permettant l'émergence de représentations de plus en plus abstraites, sans recourir à des règles grammaticales innées explicites (Elman et al., 1996 ; Rumelhart & McClelland, 1986).

Ces cadres diffèrent quant au rôle attribué à l'expérience, aux contraintes initiales et aux mécanismes d'apprentissage mobilisés, tout en reconnaissant, à des degrés et sous des formes variables, l'importance de l'exploitation des régularités de l'input linguistique, notamment à travers l'AS, ce qui conduit à examiner plus précisément la place de l'AS dans chacune de ces approches.

1.2.3. Les mécanismes d'AS dans les approches générativistes

Si l'AS est généralement associé aux approches cognitivo-fonctionnelles et émergentistes, certaines perspectives issues du générativisme ont également intégré ce mécanisme à leurs modèles de l'acquisition du langage. Ces approches reconnaissent que l'hypothèse d'une grammaire universelle innée n'exclut pas un rôle déterminant de l'expérience linguistique, mais en encadre l'interprétation théorique.

Dans les formulations générativistes classiques, la grammaire universelle est conçue comme un espace de grammaires possibles, défini par des représentations abstraites préalables qui permettent la généralisation, tandis que l'AS y est envisagé comme un mécanisme de traitement permettant d'identifier les régularités pertinentes, de filtrer l'information linguistique disponible et de contribuer au paramétrage de structures déjà spécifiées par l'inné (Lidz & Gagliardi, 2015). Dans ce cadre, l'AS ne constitue pas un mécanisme de construction autonome de la grammaire, mais un processus contribuant à orienter l'apprentissage et à faciliter l'accès aux options grammaticales prédéfinies.

Cependant, des positions innéistes plus nuancées ont progressivement émergé, en particulier dans le domaine de la phonologie. Plusieurs auteurs ont proposé de reconceptualiser la grammaire universelle non pas comme un ensemble de règles ou de représentations syntaxiques riches, mais comme un système de biais inductifs ou de contraintes perceptivo-cognitives qui orientent l'apprentissage (Peperkamp et al., 2006). Dans ces modèles, l'AS est reconnu comme le mécanisme principal de l'acquisition, tandis que l'inné fournit un cadre contraignant l'espace des généralisations possibles. L'apprentissage du langage résulte alors de l'interaction entre des capacités générales d'extraction de régularités et des biais spécifiques au domaine linguistique (par exemple en matière de saillance phonétique ou de structuration prosodique).

D'autres approches innéistes postulent l'existence de plusieurs mécanismes d'acquisition spécialisés, dont l'AS ne constitue qu'un composant parmi d'autres. C'est notamment le cas des modèles dits « words and rules », qui distinguent des processus d'AS impliqués dans l'acquisition lexicale de mécanismes symboliques ou computationnels dédiés à l'acquisition de règles morphosyntaxiques (Pinker, 1998). Des travaux ultérieurs ont toutefois nuancé cette distinction, en suggérant que certains phénomènes attribués à des mécanismes spécifiques pourraient également émerger d'un unique mécanisme d'AS, sous réserve de contraintes de saillance, de mémoire ou d'attention (Endress & Bonatti, 2016).

Enfin, l'intégration de l'AS dans les approches innéistes se retrouve également dans la littérature sur les différents types de bootstrapping (phonologique, prosodique, lexical, syntaxique). Ces cadres théoriques supposent que certaines connaissances linguistiques initiales — qu'elles soient innées ou acquises précocement — servent de point d'appui pour l'acquisition d'autres niveaux de structure. L'AS est alors un des mécanismes mobilisés pour exploiter les régularités statistiques présentes dans l'input et établir des correspondances entre

niveaux de représentation, tout en étant contraint par des connaissances préexistantes (Höhle, 2009).

Dans l'ensemble, ces approches illustrent une évolution des positions générativistes vers des modèles plus intégratifs, dans lesquels l'AS est reconnu comme un mécanisme central de l'acquisition, bien que son rôle exact — moteur principal, mécanisme parmi d'autres, ou processus guidé par des contraintes innées — fasse encore l'objet de débats théoriques. Si, dans ces cadres, l'AS est principalement mobilisé pour exploiter l'input au sein d'un espace de contraintes préexistant, les approches constructivistes lui attribuent un rôle plus directement impliqué dans la formation progressive des représentations linguistiques, perspective développée dans la section suivante.

1.2.4. Les mécanismes d'AS dans les approches constructivistes

Dans les approches constructivistes et fondées sur l'usage, l'AS est généralement envisagé comme l'un des mécanismes centraux de l'acquisition du langage. Ces approches reposent sur l'idée que le langage émerge de processus cognitifs généraux non spécifiques au domaine langagier, mobilisant notamment des capacités de traitement de l'input et d'interaction sociale (Behrens, 2021 ; Tomasello, 2007). L'acquisition repose notamment sur la capacité à identifier des régularités linguistiques dans l'input (pattern-finding), en interaction avec la compréhension des intentions communicatives d'autrui (intention-reading).

Dans cette perspective, la grammaire n'est pas innée, mais se construit progressivement à partir d'unités linguistiques concrètes extraites du langage entendu, sans qu'il existe un dispositif grammatical prédéterminé. Pour autant, la nature innée des structures cérébrales et des processus cognitifs nécessaires à l'acquisition et l'utilisation du langage n'est pas remise en question, contrairement à l'amalgame qui peut être fait à tort (Rondal, 2018).

L'acquisition est ainsi fondée sur l'usage, les régularités et exceptions grammaticales étant apprises à partir des occurrences rencontrées dans l'input, et non déduites à partir de règles préalables.

Dans la littérature francophone, la Théorie Usage et Construction (TUC) proposée par Leroy et al. (2009) illustre cette conception en articulant grammaire de construction et théorie basée sur l'usage.

Dans cette perspective, l'AS constitue un mécanisme important dans la construction progressive des connaissances linguistiques à partir de l'input. Cette conception trouve un prolongement dans les approches émergentistes, qui en proposent une formalisation plus explicite, présentée dans la section suivante.

1.2.5. Les mécanismes d'AS dans les approches émergentistes

Les approches émergentistes — parmi lesquelles les modèles connexionnistes — proposent une modélisation computationnelle explicite des processus d'apprentissage impliqués dans l'acquisition du langage. Inspirés des réseaux neuronaux artificiels, ces modèles conçoivent l'acquisition comme le résultat d'ajustements successifs dans un système qui apprend en détectant les cooccurrences, fréquences et régularités présentes dans les données linguistiques, sans recourir à des règles grammaticales préspecifiées (Elman et al., 1996). Dans cette perspective, l'AS constitue le mécanisme central permettant au système d'extraire, renforcer et généraliser des régularités.

Les travaux fondateurs de Rumelhart et McClelland (1986) sur la morphologie verbale en anglais, puis ceux d'Elman (1990, 1993) sur la segmentation lexicale et la syntaxe, ont montré qu'un réseau entraîné uniquement à partir d'exemples peut produire des généralisations de plus en plus abstraites, sans qu'aucune structure grammaticale prédéfinie ne soit fournie.

Ces modèles partagent avec le constructivisme le rejet de la grammaire universelle, mais s'en distinguent en proposant une modélisation computationnelle explicite du développement linguistique, reposant sur des mécanismes d'apprentissage continus et distribués, où les connaissances sont représentées par des réseaux d'activations partagées plutôt que par des règles symboliques isolées.

Dans ce cadre, l'AS ne constitue pas seulement un mécanisme mobilisé parmi d'autres, mais le principe même du fonctionnement du système d'apprentissage. La section suivante examine comment la prise en compte de ce mécanisme s'inscrit dans l'évolution des différents cadres théoriques de l'acquisition du langage.

1.2.6. La place de l'AS dans l'évolution des approches de l'acquisition du langage

Au cours des dernières décennies, les travaux sur l'AS ont contribué à faire évoluer les questionnements relatifs aux mécanismes de l'acquisition du langage.

Les études fondatrices de Saffran, Aslin et Newport (1996) ont montré que les nourrissons sont capables, en quelques minutes et en situation d'exposition passive, d'extraire en ligne des régularités conditionnelles à partir du signal de parole continu. Ces résultats ont mis en évidence des capacités précoces d'apprentissage fondées sur la sensibilité aux probabilités de transition, qui s'inscrivent dans un ensemble plus large de processus participant à la spécialisation perceptive au cours du développement. Dans cette perspective, l'AS constitue l'un des mécanismes par lesquels l'expérience linguistique façonne progressivement la

spécialisation perceptive, en interaction avec des processus attentionnels, prédictifs et interactionnels.

Loin d'exclure l'existence de contraintes initiales, ces travaux ont contribué à déplacer la question de l'innéité : celle-ci ne renvoie plus nécessairement à une grammaire préformée, mais à des contraintes neurocognitives et perceptivo-motrices générales qui orientent l'extraction de régularités à partir de l'input (Bates & Elman, 2005 ; Karmiloff-Smith, 1994). Dans cette perspective, des phénomènes tels que l'ajustement perceptif peuvent être envisagés comme le résultat d'un AS contraint par les propriétés biologiques du système auditif et articulatoire, illustrant l'interaction entre biais initiaux et expérience linguistique.

Parallèlement, le nativisme contemporain s'est recentré sur un ensemble minimal de principes abstraits (Berwick & Chomsky, 2016 ; Chomsky, 2013), tandis que les modèles constructivistes et connexionnistes ont progressivement intégré des mécanismes d'abstraction et de généralisation de plus en plus formalisés. Dans ce contexte, l'AS occupe une place centrale dans les débats actuels, bien que son statut exact fasse encore l'objet de discussions théoriques.

En résumé, l'AS apparaît comme un mécanisme largement pris en compte dans les approches contemporaines de l'acquisition du langage, bien que son statut, sa portée explicative et son articulation avec d'autres mécanismes cognitifs varient sensiblement selon les cadres théoriques. Il permet aux modèles constructivistes de rendre compte de l'émergence des représentations linguistiques à partir de l'usage, tout en fournissant aux approches générativistes révisées un ensemble de mécanismes contribuant à la sélection et à la pondération des informations pertinentes dans l'input, et aux modèles connexionnistes une base computationnelle de l'apprentissage. Le débat contemporain ne porte donc plus sur l'opposition entre biologie et expérience, mais sur la nature et la diversité des mécanismes par lesquels des biais cognitifs initiaux interagissent avec la richesse statistique de l'environnement linguistique. Dans ce contexte, les avancées théoriques et méthodologiques apparaissent étroitement liées : le développement de paradigmes permettant d'accéder aux processus perceptifs et au traitement en ligne a contribué à documenter empiriquement ces mécanismes, tandis que les cadres théoriques ont orienté la conception de nouvelles approches expérimentales adaptées aux contraintes du jeune enfant.

1.3. Méthodes d'étude du développement du langage chez le jeune enfant

L'étude du développement du langage chez le jeune enfant pose des défis méthodologiques spécifiques, liés au caractère évolutif des compétences linguistiques, aux contraintes développementales pesant sur l'attention, la mémoire et le contrôle moteur, ainsi qu'à l'absence ou à la limitation des réponses verbales et métalinguistiques au cours des premières années de vie. Ces contraintes ont conduit au développement d'un ensemble de méthodes complémentaires visant à inférer l'état des connaissances linguistiques émergentes à partir d'indices comportementaux, de réponses simples ou d'estimations rapportées par l'entourage de l'enfant (Kail, 2020). Le choix des outils méthodologiques conditionne ainsi directement la nature des inférences possibles quant aux mécanismes impliqués dans l'acquisition du langage.

1.3.1. Questions théoriques ouvertes et enjeux méthodologiques

Dans ce paysage théorique, plusieurs questions demeurent ouvertes quant à la nature des mécanismes d'apprentissage impliqués. Si un consensus existe quant à l'existence de contraintes orientant l'apprentissage, leur nature reste débattue, qu'il s'agisse de contraintes domaine général ou spécifiques au langage, ou encore de contraintes architecturales, renvoyant aux propriétés structurelles du système de traitement (par ex., les limites de mémoire ou la maturation neurocognitive), versus représentationnelles, portant sur le format et le contenu des représentations linguistiques (Rowland et al., 2025).

Une théorie explicative de l'acquisition du langage devrait en outre préciser comment ces mécanismes s'implémentent dans le substrat neural, évoluent au cours des premières années, traitent l'input linguistique en ligne, encodent et récupèrent l'information en mémoire à long terme, et permettent la construction de catégories à partir des régularités de l'input (Rowland et al., 2025).

Ces questionnements théoriques sont indissociables des enjeux méthodologiques, en particulier chez le jeune enfant. L'étude des capacités réceptives précoces est souvent privilégiée pour appréhender les connaissances linguistiques émergentes, dans la mesure où les performances de production sont plus difficiles à mesurer, voire absentes, à ces âges. L'exploration des capacités perceptives et de compréhension apparaît ainsi comme une voie pertinente pour accéder aux représentations en cours de construction, tout en soulevant des défis méthodologiques spécifiques.

De manière générale, les méthodes se distinguent quant au moment du recueil des indices comportementaux par rapport au traitement linguistique, ainsi qu'au type d'inférences

qu'elles autorisent. Les différentes méthodes et leurs enjeux sont présentés dans la présente section.

1.3.2. Principales approches méthodologiques en psycholinguistique développementale

Les méthodes utilisées pour étudier le développement du langage chez le jeune enfant peuvent être décrites selon plusieurs distinctions complémentaires. Une première distinction concerne le mode d'accès aux représentations linguistiques et le type d'inférence autorisé par la réponse comportementale requise : les tâches de sensibilité perceptive fournissent des indices de réactivité à certaines propriétés de l'input, sans engager explicitement le lien forme–signification ; les tâches de compréhension permettent d'inférer l'établissement fonctionnel de ce lien ; les tâches de production sollicitent enfin la génération active de formes linguistiques et autorisent des inférences plus fortes, mais ont des exigences cognitives et développementales plus élevées.

Une seconde distinction porte sur la temporalité de la mesure par rapport au traitement linguistique : les mesures en ligne visent à capter des indices du traitement pendant l'exposition aux stimuli, tandis que les mesures hors ligne reposent sur des réponses différées, plus directement dépendantes de la mémoire et de processus décisionnels. Il convient toutefois de noter que la notion de mesure en ligne recouvre des acceptions variables. Dans un sens large, régulièrement adopté en psycholinguistique développementale, elle désigne des indices recueillis pendant le traitement des stimuli, par opposition à des réponses différées dites hors ligne. Dans un sens plus restrictif, certaines approches définissent les mesures en ligne comme celles permettant de suivre la dynamique de l'apprentissage au cours même de l'exposition, et non uniquement d'en évaluer l'issue lors d'une phase de test (Siegelman et al., 2017).

Enfin, l'opposition entre mesures directes et indirectes renvoie à la relation inférentielle entre le comportement observé et la compétence linguistique ciblée. Les mesures directes infèrent cette compétence à partir d'indices comportementaux ou physiologiques généralement involontaires, non spécifiques à la tâche linguistique et recueillis en temps réel ou presque, tandis que les mesures indirectes reposent sur des réponses volontaires et intentionnelles, explicitement requises par la tâche, linguistiques ou motrices. Cette distinction peut toutefois recouvrir des acceptions différentes : elle peut renvoyer soit au type de réponse mobilisé (non volontaire vs volontaire), comme c'est le cas ici, soit au mode de recueil des données (auprès de l'enfant directement vs indirectement via des tiers, comme les questionnaires parentaux). Dans cette section, le terme est employé dans son acception psycholinguistique, centrée sur la nature des processus engagés.

Ces distinctions, bien que souvent corrélées dans les paradigmes développementaux, sont conceptuellement indépendantes et se combinent de manière variable selon les objectifs et les contraintes propres à chaque étude.

Sur le plan méthodologique, ces distinctions se traduisent par une diversité de tâches et de procédures adaptées aux contraintes développementales du jeune enfant (Kail, 2020). Chez les nourrissons et les très jeunes enfants, l'étude des compétences perceptives et linguistiques précoces repose principalement sur des paradigmes fondés sur des indices comportementaux ou physiologiques mesurés de façon directe, tels que les variations du rythme cardiaque, les réponses de succion non nutritive ou la distribution du regard (Kail, 2020). Ces indices permettent d'inférer une sensibilité à certaines propriétés de l'input linguistique, ou une compréhension linguistique, en l'absence de réponse volontaire explicite. Le recours aux paradigmes mesurant le temps de regard est très fréquent. Parmi les procédures les plus utilisées figurent la procédure de préférence par orientation de la tête (« Headturn Preference Procedure », HPP), qui exploite l'orientation de la tête comme indice de discrimination ou de sensibilité perceptive, le paradigme intermodal du regard préférentiel (« Intermodal Preferential Looking Paradigm », IPLP), dans lequel la distribution du regard vers des scènes visuelles concurrentes est mesurée pendant la présentation de stimuli linguistiques, ainsi que des paradigmes de fixation centrale, mesurant le temps global de regard (Kail, 2020). Ces paradigmes impliquent classiquement un codage manuel (l'expérimentateur appuie sur un bouton lorsque l'enfant regarde la cible) et sont aujourd'hui également implémentés à l'aide de l'oculométrie (« eye-tracking »), permettant une mesure automatisée et continue du regard. Les approches neurophysiologiques, telles que l'électroencéphalographie et l'étude des potentiels évoqués, permettent également d'explorer le traitement linguistique précoce à partir d'indices neuronaux, notamment indépendamment de toute réponse comportementale observable (Kail, 2020).

À partir d'âges plus avancés, lorsque l'enfant est en mesure de fournir des réponses volontaires simples, des mesures basées sur des réponses volontaires peuvent être mobilisées, avec en compréhension notamment des tâches de sélection d'images, d'exécution d'actions ou de jugement, permettant d'évaluer l'établissement du lien entre formes linguistiques et significations.

L'étude de la production du langage repose quant à elle sur des observations naturalistes et sur des tâches de production induite, telles que l'élicitation de formes lexicales ou

morphosyntaxiques, qui deviennent exploitables avec le développement des capacités motrices, cognitives et linguistiques de l'enfant (Kail, 2020).

En complément de ces paradigmes expérimentaux, l'évaluation du développement langagier s'appuie également sur des questionnaires parentaux et des épreuves standardisées (Kail, 2020). Les questionnaires parentaux offrent une estimation écologiquement valide des compétences communicatives et langagières de l'enfant dans son environnement quotidien, tandis que les tâches standardisées fournissent des repères normés facilitant la comparaison interindividuelle et développementale. Bien que ces outils reposent sur des modalités d'évaluation distinctes de celles des paradigmes expérimentaux, leur combinaison contribue à une caractérisation plus complète des compétences langagières émergentes, en particulier dans une perspective longitudinale.

1.3.3. L'oculométrie dans l'étude de la sensibilité aux régularités linguistiques

Parmi les procédures permettant les mesures directes, l'oculométrie occupe une place croissante dans l'étude du développement langagier précoce. Cette technique repose sur l'enregistrement de la position et des mouvements des yeux à partir de la réflexion cornéenne de la lumière infrarouge, permettant de mesurer précisément les temps de regard et les trajectoires oculaires (Gredebäck et al., 2009). Dans les paradigmes de fixation centrale ou de préférence visuelle, l'oculométrie est fréquemment utilisée comme mesure proxy de l'attention auditive et de la sensibilité à certaines propriétés linguistiques.

Comparée à des procédures plus traditionnelles avec codage manuel, l'oculométrie fournit des mesures objectives et exemptes de biais d'observateur, tout en ne nécessitant pas de réponse comportementale explicite, ce qui constitue un avantage pour les expériences avec de jeunes enfants (Gredebäck et al., 2009 ; Oakes, 2012). Son utilisation s'est ainsi largement diffusée dans l'étude de la sensibilité auditive, notamment dans les paradigmes de préférence visuelle (IPLP) et de fixation centrale (Junge et al., 2020 ; ManyBabies Consortium, 2020). Sa fiabilité test-retest a été démontrée (Kooiker et al., 2014). Toutefois, il apparaît que l'oculométrie (en codage manuel et automatisé) entraîne des effets de préférence moins importants que la HPP dans certains paradigmes. L'hypothèse avancée est que la nécessité d'une réponse motrice en HPP (tourner la tête) pourrait augmenter la sensibilité (Junge et al., 2020 ; ManyBabies Consortium, 2020).

Cette méthode présente plusieurs contraintes. La qualité des données dépend fortement de la calibration, souvent délicate chez les jeunes enfants, et les mouvements de tête peuvent entraîner des pertes de données importantes. Les volumes de données générés nécessitent par

ailleurs des procédures d'analyse complexes (Oakes, 2012). Les taux d'attrition peuvent aussi être plus élevés que dans les méthodes de codage manuel, mais cela pourrait s'expliquer par l'absence de contingence entre le regard et le déclenchement des essais dans ces études, en raison d'un stimulus d'accroche du regard (attention grabber) de durée fixe qui ne garantit pas que l'enfant regarde bien le stimulus visuel de l'essai au moment de la présentation (Junge et al., 2020). Enfin, la mise en œuvre expérimentale de l'oculométrie peut s'avérer complexe, les logiciels des fabricants étant souvent trop limités pour des protocoles flexibles, tandis que l'usage de programmes externes peut conduire à la perte de certaines fonctionnalités (Oakes, 2012).

Au-delà de ces aspects techniques, la valeur principale de l'oculométrie réside moins dans sa capacité à remplacer le codage humain du regard global que dans l'accès potentiel à des indicateurs plus fins du traitement, tels que les latences de regard, les saccades ou la dynamique des trajectoires oculaires (Gredebäck et al., 2009). L'exploitation de ces mesures requiert néanmoins un contrôle rigoureux de la qualité des données et une interprétation prudente des indices comportementaux observés.

1.3.4. Forces et limites des méthodes de sensibilité chez le jeune enfant

Les tâches de sensibilité fondées sur des mesures directes présentent un avantage majeur : elles permettent d'explorer des compétences linguistiques émergentes sans exiger de réponse volontaire consciente, ce qui les rend particulièrement adaptées à l'étude du jeune enfant. Dans ces paradigmes, les effets sont fréquemment inférés à partir de comparaisons de temps de regard entre des stimuli différant notamment en termes de familiarité ou de nouveauté. Toutefois, ces paradigmes ne permettent pas d'observer directement l'apprentissage des régularités linguistiques, mais donnent accès à une expression qui demeure comportementale, sensible aux variations attentionnelles et susceptible d'être modulées par des facteurs indépendants du traitement des régularités statistiques étudiées (Arnon, 2020 ; Isbilen & Christiansen, 2022 ; Siegelman et al., 2017).

Dans ce contexte, plusieurs travaux mettent en évidence les limites interprétatives des effets groupaux obtenus à partir de paradigmes comportementaux, en particulier lorsque les indices mesurés présentent une forte variabilité inter- et intra-individuelle (Siegelman et al., 2017).

Dans les paradigmes basés sur les temps de regard, la direction et l'amplitude des préférences observées dépendent à la fois de paramètres méthodologiques (procédure, durée de familiarisation, caractéristiques des stimuli, organisation des essais) et de facteurs propres à

l'enfant, tels que l'état attentionnel, la fatigue ou l'engagement au moment de la passation (Arnon, 2020).

La direction des préférences attentionnelles (familiarité vs nouveauté) constitue un indicateur fréquemment mobilisé pour interpréter ces effets. Dans le cadre du modèle développemental de Hunter et Ames (1988), elle est considérée comme reflétant le niveau de traitement de l'information : une préférence pour les stimuli familiers traduirait un encodage en cours, tandis qu'une préférence pour la nouveauté indiquerait une représentation plus consolidée, l'absence de préférence pouvant correspondre à un encodage insuffisant ou à un état intermédiaire dans lequel les représentations sont en compétition.

Dans cette perspective, la direction de l'effet ne constitue pas un indicateur direct de l'apprentissage, mais un indice dont l'interprétation dépend du cadre théorique mobilisé. Au-delà des facteurs liés aux conditions de mesure, elle s'inscrit dans un continuum dynamique influencé par l'âge, la durée d'exposition et la complexité des stimuli. Ainsi, les variations de préférence peuvent refléter des différences dans le degré d'avancement de l'apprentissage plutôt que des différences de réussite ou d'échec.

Ces limites ont des implications importantes pour l'étude des différences individuelles. De nombreuses tâches de sensibilité ont été initialement conçues pour mettre en évidence des effets groupaux, ce qui limite leur fidélité lorsqu'elles sont mobilisées pour estimer des performances individuelles fiables, en particulier chez le jeune enfant (Bogaerts et al., 2022 ; Siegelman et al., 2017). Ces contraintes méthodologiques soulignent ainsi la nécessité d'une interprétation prudente des résultats obtenus, ainsi que la pertinence d'adopter des approches complémentaires pour l'étude des compétences langagières émergentes.

1.3.5. Enjeux méthodologiques et positionnement de la présente thèse

Les considérations méthodologiques précédentes soulignent la nécessité d'adopter des approches intégratives, combinant plusieurs types de mesures et tenant compte des limites inhérentes à chacune d'elles. Les recommandations récentes insistent notamment sur l'importance de distinguer apprentissage et performance, de définir précisément la composante mesurée (modalité, type de dépendance, nature du matériel, type de mesure) et de privilégier, lorsque cela est possible, des mesures directes limitant les exigences de décision consciente et des mesures en ligne permettant d'accéder aux processus dynamiques d'apprentissage (Isbilen & Christiansen, 2022 ; Siegelman et al., 2017).

Les choix méthodologiques opérés dans cette thèse s'inscrivent dans ce cadre général. Le recours à des tâches de sensibilité mesurées par oculométrie, combinées à des tâches de

compréhension, de production et à des outils parentaux et standardisés, vise à appréhender différentes facettes des compétences langagières émergentes, tout en reconnaissant les limites inférentielles propres à chaque méthode. Ces choix ne prétendent pas lever l'ensemble des contraintes méthodologiques identifiées dans la littérature, mais cherchent à en tenir compte de manière explicite, afin de proposer une lecture nuancée des résultats empiriques et de contribuer aux réflexions méthodologiques actuelles en psycholinguistique développementale.

Les méthodes présentées dans cette section constituent le socle empirique à partir duquel sont formulées les hypothèses et interprétées les données relatives à l'AS au cours du développement. La diversité des paradigmes et des mesures disponibles, ainsi que leurs forces et leurs limites respectives, invitent à une lecture nuancée des résultats rapportés dans la littérature. La section suivante propose ainsi une revue narrative des travaux examinant les liens entre mécanismes d'AS et acquisition du langage oral, en tenant compte des cadres méthodologiques dans lesquels ces résultats ont été obtenus.

1.4. Mécanismes d'AS et langage oral – Revue narrative

État : Publié le 25 septembre 2025 dans *Glossa Revue Scientifique en Orthophonie Logopédie*.

Bodard, J. (2025). Mécanismes d'apprentissage statistique et langage oral : de la théorie à la clinique. *Glossa*, 144, 42-63. <https://doi.org/10.61989/a6y5fs24>

Mécanismes d'apprentissage statistique et langage oral : de la théorie à la clinique

Autrice :

Julie Bodard¹

Affiliations :

¹Institut des Sciences
Logopédiques, Université
de Neuchâtel, Suisse.

Autrice de correspondance :

Julie Bodard
julie.bodard@unine.ch

Dates :

Soumission : 23/06/2024
Acceptation : 27/03/2025
Publication : 25/09/2025

Comment citer cet article :

Bodard, J. (2025). Mécanismes
d'apprentissage statistique
et langage oral : de la théorie
à la clinique. *Glossa*, 144, 42-
63. <https://doi.org/10.61989/a6y5fs24>

e-ISSN : 2117-7155

Licence :

© Copyright Julie
Bodard, 2025. Ce
travail est disponible
sous licence Creative
Commons Attribution 4.0
International.



Contexte. Les mécanismes d'apprentissage statistique (AS) jouent un rôle crucial dans le développement du langage oral. Ce domaine de recherche explore comment les individus détectent et utilisent les régularités statistiques des stimuli linguistiques pour acquérir des compétences langagières. Comprendre ces mécanismes apporte un éclairage intéressant concernant le développement du langage et ses difficultés d'acquisition. Cependant, l'AS et ses implications pour la clinique sont encore largement méconnus par les orthophonistes.

Objectifs. Cette revue de littérature a pour objectif de synthétiser les connaissances actuelles sur l'AS dans le développement du langage oral, tant typique qu'atypique, et d'explorer ses applications possibles en orthophonie. Elle vise à clarifier les concepts fondamentaux de l'AS, à analyser son rôle dans les trajectoires langagières et à identifier des approches pour intégrer ces principes dans les pratiques thérapeutiques. En s'appuyant sur les évidences scientifiques à disposition, elle discute également les limites méthodologiques et propose des perspectives pour renforcer les liens entre recherche théorique et clinique.

Méthodes. Cette revue narrative à visée heuristique et de synthèse, non exhaustive, a été réalisée à partir d'un examen non systématique mais structuré de la littérature. Les articles ont été sélectionnés via des bases de données (PsycInfo, ERIC, MEDLINE, MLA, PubMed et Google Scholar) avec des mots-clés définis. Les critères d'inclusion portaient sur le domaine d'étude, la population et la langue. Les méta-analyses, revues systématiques et études expérimentales ont été privilégiées, en intégrant à la fois des publications récentes et des travaux de référence.

Résultats. Les études révèlent l'efficacité de l'AS dès la petite enfance dans divers aspects du développement langagier. Cependant, les variations individuelles en AS, notamment chez les enfants présentant des difficultés langagières, soulignent la complexité des mécanismes d'apprentissage. L'article met en lumière les défis théoriques et méthodologiques dans la mesure et l'interprétation de l'AS, ainsi que les implications pratiques pour l'intervention orthophonique, proposant l'utilisation de principes basés sur l'AS pour améliorer l'efficacité thérapeutique.

Conclusions. L'AS, avec ses mécanismes puissants et rapides, offre un potentiel intéressant d'optimisation des interventions orthophoniques, complémentaire à l'apprentissage explicite. En centrant les thérapies sur l'input et en exploitant les principes de l'AS, les orthophonistes peuvent favoriser un apprentissage efficace et sans effort, ainsi que la généralisation des acquis. Bien que des recherches supplémentaires soient nécessaires, les données actuelles encouragent son intégration en clinique, tout en ouvrant la perspective de développer des outils pour le dépistage et l'intervention précoce dans différents domaines langagiers.

Mots-clés : apprentissage statistique, développement langagier, parleur tardif, trouble développemental du langage, orthophonie, intervention clinique.

Statistical Learning Mechanisms and Oral Language: From Theory to Practice

Background. Statistical learning (SL) mechanisms play a crucial role in oral language development. This field of research explores how individuals detect and use statistical regularities in linguistic stimuli to acquire language skills. Understanding these mechanisms provides valuable insights on language development and acquisition difficulties. However, SL and its clinical implications are still largely unknown to speech-language pathologists (SLPs).

Aims. The aim of this literature review is to synthesize current knowledge on SL in oral language development, both typical and atypical, and to explore its possible applications in speech-language therapy. It aims to clarify the fundamental concepts of SL, analyze its role in language trajectories, and identify approaches for integrating these principles into therapeutic practices. Drawing on available scientific evidence, it also discusses methodological limitations and proposes perspectives for strengthening the links between theoretical research and clinic.

Methods. This narrative review, with a heuristic and synthetic aim, was conducted based on a non-systematic but structured examination of the literature. Articles were selected using databases (PsycInfo, ERIC, MEDLINE, MLA, PubMed, and Google Scholar) with predefined keywords. Inclusion criteria focused on the field of study, population, and language. Priority was given to meta-analyses, systematic reviews, and experimental studies, incorporating both recent publications and key reference works.

Results. Studies reveal the effectiveness of SL from early childhood in various aspects of language development. However, individual variations in SL, particularly in children with language difficulties, highlight the complexity of learning mechanisms. The article highlights the theoretical and methodological challenges in measuring and interpreting SL, as well as the practical implications for speech and language pathology intervention, proposing SL-based principles for improving therapeutic effectiveness.

Conclusions. Statistical learning, with its powerful and rapid mechanisms, offers an interesting potential to optimize speech-language therapy interventions, complementing explicit learning. By focusing therapies on input and exploiting AS principles, SLPs can promote effective, effortless learning and generalization. Although further research is needed, current data encourage its integration into clinical practice, while opening the prospect of developing tools for screening and early intervention in various language domains.

Keywords: statistical learning, language development, late talker, developmental language disorder, speech and language therapy, clinical intervention.

INTRODUCTION

Les enfants au développement typique acquièrent une ou plusieurs langues de manière rapide et avec une apparente aisance. Pourtant, pour certains, cet apprentissage n'est pas si simple. Un enjeu majeur pour les professionnels de la petite enfance est donc de soutenir le développement du langage des enfants pour lesquels il est retardé ou altéré. Si les étapes de l'acquisition du langage sont bien connues, l'interprétation des comportements langagiers et leurs processus sous-jacents (perceptifs, cognitifs, socio-cognitifs, mnésiques) sont encore largement discutés. Parmi différents processus cognitifs impliqués dans le développement langagier (p. ex. : mémoire de travail, attention conjointe, catégorisation, lecture d'intention), depuis une trentaine d'années, des recherches soulignent le rôle de l'apprentissage statistique (AS) dans le traitement et l'acquisition du langage (Isbilen & Christiansen, 2022). Selon le contexte, l'AS est considéré comme un processus cognitif ou comme un ensemble de mécanismes cognitifs permettant la détection et l'apprentissage de régularités de l'environnement en l'absence d'apprentissage explicite (Perruchet & Pacton, 2006). Il interviendrait dans d'autres processus de traitement et d'apprentissage, tels que la segmentation des mots et l'apprentissage morphosyntaxique. L'AS gagne en visibilité dans la littérature orthophonique récente, mais ses mécanismes et implications dans les difficultés langagières et la thérapie demeurent mal connus des cliniciens. Pourtant, il s'agit de mécanismes d'apprentissage puissants permettant la segmentation (détection de probabilités transitionnelles et de frontières de séquences), la discrimination (calcul des fréquences de co-occurrence, différenciation des configurations probables/improbables), l'extraction de régularités (identification des patterns récurrents, calcul des distributions de probabilités) ou encore l'abstraction (généralisation des structures, construction de représentations statistiques) (Romberg & Saffran, 2010), dont la compréhension peut apporter un éclairage utile à la clinique orthophonique. En outre, depuis les années 2000, la déontologie de l'orthophonie engage à fonder les pratiques sur les meilleures preuves scientifiques. Toutefois, créer des ponts entre recherche et clinique n'est pas toujours aisé.

À cette fin, cette revue narrative vise à synthétiser et rendre accessibles les connaissances actuelles sur l'AS dans le développement du langage oral,

typique et atypique, et à explorer son potentiel pour la clinique orthophonique. Elle discute également les limites et perspectives de la recherche dans ce domaine. Quatre questions principales sont traitées :

Qu'est-ce que l'apprentissage statistique ?

Définir les concepts et la terminologie employés dans la recherche sur l'AS est essentiel pour établir une base de connaissances commune, nécessaire à la compréhension des mécanismes cognitifs sous-jacents, de la littérature sur ce sujet et des questions abordées dans la suite de l'article.

Quel est le rôle de l'AS dans le développement langagier typique ?

Comprendre l'implication de l'AS dans le langage typique fournit un cadre pour comparer les trajectoires atypiques et appréhender les liens possibles avec la clinique, ce qui est crucial pour les orthophonistes. L'AS intervient dans divers aspects du langage (parole, lexique, morphosyntaxe) et cette implication est illustrée par des exemples issus de recherches. Les variations liées à l'âge et les défis de mesure au niveau individuel sont également abordés.

Quel est le rôle de l'AS dans le développement langagier retardé ou atypique ?

Examiner si et comment l'AS intervient dans les retards ou troubles du développement du langage, en identifiant des profils particuliers ou des déficits, est intéressant pour la clinique orthophonique. Cela implique de faire le point sur l'état des connaissances actuelles concernant la contribution de l'AS à ces difficultés, en s'intéressant à différentes populations (parleurs tardifs et enfants avec troubles du développement du langage) et types de statistiques (conditionnelles, distributionnelles). Les orthophonistes pour guider avec nuance leur pratique doivent aussi avoir connaissance du manque de consensus et des limites actuelles de la recherche.

Comment les connaissances théoriques sur l'AS peuvent être utilisées dans la clinique orthophonique ?

Avoir connaissance des études qui montrent que manipuler l'input langagier et structurer les thérapies selon les principes de l'AS peut avoir un impact positif sur l'apprentissage d'enfants présentant des difficultés dans le développement

du langage, offre des pistes intéressantes aux orthophonistes. Il s'agit donc d'illustrer le potentiel de l'AS et de donner des exemples concrets d'intégration des connaissances sur l'AS dans la pratique clinique pour améliorer l'efficacité des thérapies langagières.

MÉTHODES

Une revue de littérature narrative a pour rôle d'offrir « une synthèse informelle et une discussion sur un sujet donné, basées sur un examen non nécessairement systématique et exhaustif de la littérature » (Saracci et al., 2019, p.1694). Cette revue narrative balaye différents sujets concernant l'AS dans le domaine du langage oral (qui pourraient faire chacun l'objet d'une revue indépendante) afin de suivre un cheminement dans la connaissance et la compréhension de ces mécanismes de la théorie à la pratique. Ne pouvant consister en une somme de (quatre) revues de littératures exhaustives trop longue et indigeste, cet article a demandé de faire des choix, et seul un nombre restreint d'études

a pu être présenté ou même cité. La recherche et la sélection des articles ont été réalisées par l'auteure.

Critères d'inclusion et d'exclusion

Les références citées dans l'article ont été incluses ou exclues en fonction de critères concernant le domaine d'étude, la population et la langue de publication, détaillés dans le tableau 1. Aucune restriction n'a été appliquée au type ni à la date de publication.

Stratégie de recherche

Le moteur de recherche Google Scholar et les bases de données bibliographiques PsycInfo, ERIC, MEDLINE, MLA via la plateforme EBSCO, ainsi que PubMed ont été utilisés. Les mots-clés ont été définis à partir de lectures antérieures et de recherches exploratoires. La recherche d'articles scientifiques s'est organisée en trois étapes avec différents mots-clés : la recherche initiale (tableau 2), la recherche élargie (tableau 3) et les

TABEAU 1 : Critères d'inclusion et d'exclusion pour la recherche des références.

	Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
Domaine	Portant sur l'AS dans le domaine langagier, notamment dans développement du langage oral typique et atypique Portant sur l'utilisation des caractéristiques de l'AS en orthophonie	Portant (principalement) sur des stimuli non linguistiques (auditifs, visuels, moteurs) Portant sur la musique Portant sur le langage écrit Portant sur l'apprentissage d'une seconde langue
Population	Tout venant Avec retard ou trouble du développement du langage (y compris avec co-morbidité)	Troubles du langage écrit
Type de publication	Pas de restriction	
Date de publication	Pas de restriction (jusqu'à mai 2024)	
Langue de publication	Anglais, français	Autres langues

AS = apprentissage statistique

TABEAU 2 : Mots-clés utilisés pour la recherche des articles scientifiques inclus dans la revue, lors de l'étape 1/3 : recherche initiale

Ciblage des méta-analyses et revues systématiques portant sur l'AS (et termes équivalents) en lien avec le langage, en utilisant des mots-clés et opérateurs booléens, dans le titre	
En anglais	("statistical learning" OR "implicit learning" OR "procedural learning") AND language AND (meta-analysis OR "systematic review")
En français	("apprentissage statistique" OR "apprentissage implicite" OR "apprentissage procédural") AND langage AND (méta-analyse OR "revue systématique")

TABEAU 3 : Mots-clés utilisés pour la recherche des articles scientifiques inclus dans la revue, lors de l'étape 2/3 : recherche élargie

Exploration des articles définissant l'AS, sa terminologie et ses liens avec le développement du langage, en utilisant des mots-clés et opérateurs booléens	
En anglais	Dans le titre : ("statistical learning" OR "implicit learning" OR "procedural learning") Dans le texte complet : AND ("language acquisition" OR "language development" OR "language learning") Exclusion d'autres thématiques dans le titre : NOT (music OR musical OR "second language" OR "foreign language" OR L2 OR reading OR literacy) Ciblage de certains sujets en ajoutant des mots-clés spécifiques dans le texte complet : ("late talker" OR "late talking") ou ("developmental language disorder" OR "specific language impairment")
En français	Dans le titre : ("apprentissage statistique" OR "apprentissage implicite" OR "apprentissage procédural") Dans le texte complet : AND ("acquisition du langage" OR "développement du langage" OR "apprentissage du langage") Exclusion d'autres thématiques dans le titre : NOT (musique OR "seconde langue" OR "langage écrit" OR lecture OR orthographe OR dyslexie OR dyslexique OR dysorthographe OR dysorthographique)

TABEAU 4 : Mots-clés utilisés pour la recherche des articles scientifiques inclus dans la revue, lors de l'étape 3/3 : recherches spécifiques

Des recherches ciblées ont approfondi des thématiques précises, en anglais	
Développement phonétique/phono-logique	Dans le titre : ("speech development" OR "speech perception" OR phonetic OR phonology OR phonotactics") Dans le texte complet : AND "statistical learning" AND (frequency OR occurrence) AND (infant OR baby OR toddler OR child)*
Développement morphosyntaxique	Dans le titre : (syntax OR "word order" OR morphosyntax OR agreement) Dans le texte complet : AND "statistical learning" AND (frequency OR occurrence) AND (infant OR baby OR toddler OR child)*
Parleurs tardifs	Dans le titre : ("late talker" OR "late talking") Dans le texte complet : AND ("statistical learning" OR "implicit learning" OR "procedural learning")
Clinique orthophonique	Dans le titre : ("statistical learning" OR "implicit learning" OR "procedural learning") AND ("speech therapy" OR "language therapy" OR "speech pathology")

* Les pluriels ont été ajoutés pour la recherche avec Google Scholar : infants, babies, toddlers, children

recherches spécifiques (tableau 4). Nous avons également largement consulté les bibliographies des articles et d'ouvrages d'experts.

Sélection des articles

Pour répondre aux contraintes formelles et limiter le nombre d'études mentionnées, cette revue s'appuie en priorité sur des méta-analyses et des revues systématiques (plus hauts niveaux de preuve scientifique), puis sur des études expérimentales (non randomisées contrôlées et de cohorte, les études randomisées étant souvent peu adaptées dans ce domaine) et des articles de synthèses permettant d'identifier des travaux pertinents. Les articles revus par des pairs ont également été favorisés.

La sélection initiale a été réalisée en lisant d'abord les titres, puis les résumés pertinents et enfin les textes intégraux si les résumés étaient appropriés. Une lecture critique a été réalisée, prêtant attention à la qualité de l'étude et de l'article, mais non systématisée (pas de grille d'évaluation). Une partie des articles provient également des bibliographies d'articles cités ou non dans cette revue. Ensuite, nous avons sélectionné des études clés et de référence dans le domaine, ainsi que des études illustrant des aspects moins développés ouvrant des perspectives. Nous avons également privilégié les publications récentes intégrant ou actualisant les données issues de travaux antérieurs. Cette

revue n'inclut pas l'ensemble des travaux consultés pour avoir à la fois une vue d'ensemble et précise du sujet pour sa réalisation.

Synthèse

Compte tenu de la structure et de l'ampleur de cette revue, le travail de synthèse a consisté, pour chaque question de recherche, à présenter les principales perspectives ou sous-domaines, à les définir et à les expliquer succinctement, puis à les illustrer par une méta-analyse, un article de synthèse reprenant plusieurs études ou une étude sélectionnée.

DÉFINITION ET TERMINOLOGIES

La sensibilité humaine aux régularités de l'environnement, tant visuelles qu'auditives, est aujourd'hui largement admise. Les mécanismes cognitifs d'apprentissage statistique, permettent de détecter et traiter ces régularités pour en extraire des patterns, émergeant automatiquement de l'expérience et permettant un apprentissage implicite (Perruchet & Pacton, 2006). Ces mécanismes, observés du nouveau-né à l'adulte et chez d'autres espèces, sont recrutés pour divers stimuli : sons, stimuli linguistiques, séquences d'action, stimuli visuels (scènes, formes) ou encore relations intermodales (Thiessen, 2017). Ainsi, ils permettent de développer des compétences dans différents domaines tels que la perception, la motricité, les comportements sociaux ou encore le langage (Frost et al., 2019, p.13).

Divers courants de recherche décrivent ce type de mécanismes utilisant une terminologie différente. L'apprentissage implicite (AI), exposé par Reber (1967), s'intéresse à l'abstraction de règles dans des situations complexes via l'apprentissage de grammaires artificielles, tandis que l'apprentissage statistique (AS), introduit par Saffran et al. (1996), décrit la capacité des jeunes enfants à discriminer des non-mots dans un flot continu en langage artificiel. Développées séparément, ces approches offrent des perspectives divergentes sur les computations impliquées dans l'apprentissage. Toutefois, les recherches sur l'AI et l'AS ont évolué et les frontières sont aujourd'hui moins clairement définies, à l'instar de Christiansen (2019) qui prône leur intégration sous le nom d'*apprentissage statistique implicite*, partageant un intérêt pour les mécanismes d'apprentissage « fortuit ». L'intérêt pour l'apprentissage implicite se retrouve aussi dans le courant de recherche sur l'*apprentissage procédural* (Ullman & Pierpont, 2005) qui est

considéré crucial pour acquérir et utiliser des compétences impliquant des séquences, notamment pour soutenir l'apprentissage des règles régissant la morphologie, la syntaxe et la phonologie. Si ces terminologies font initialement référence à des notions distinctes, l'AI et l'AS sont actuellement relativement équivalentes ou possèdent en tout cas des chevauchements importants sur l'absence d'intention consciente d'apprentissage, le traitement automatique des informations, la détection des schémas et des structures sous-jacentes dans l'environnement et l'importance de l'exposition.

Initialement, l'AS faisait référence à la sensibilité aux probabilités transitionnelles chez les jeunes enfants (Saffran et al., 1996), mais des études ont révélé une variété d'informations statistiques traitées par différents mécanismes : les relations conditionnelles (1), distributionnelles (2) et basées sur les indices (3) (Thiessen, 2017). Le tableau 5 présente ces trois principaux types d'indices statistiques traités dans l'AS, en mettant en lumière leur rôle spécifique dans le développement langagier.

Une question théorique importante demeure quant à l'unicité ou la pluralité des mécanismes d'AS. Certains auteurs conçoivent l'AS comme un mécanisme cognitif général unique, n'excluant pas néanmoins des sous-systèmes spécifiques à certains domaines ou modalités. Cependant, les recherches actuelles suggèrent plutôt une pluralité de mécanismes distincts selon les domaines et les modalités, impliquant des réseaux partiellement superposés mais distincts (Frost et al., 2019). L'AS résulterait d'un ensemble de mécanismes dédiés à divers types de stimuli, impliquant des représentations spécifiques à la modalité, au type de stimulus et de structure statistique de l'input, plutôt que des représentations abstraites (Arnon, 2020).

Des études montrent que dès l'enfance, les humains sont sensibles aux structures de leur environnement et les apprennent implicitement par simple exposition à divers stimuli, y compris linguistiques (Saffran & Kirkham, 2018). La première question importante pour les orthophonistes est donc de savoir si ces compétences contribuent aux apprentissages, notamment à l'acquisition du langage oral.

TABEAU 5 : Définitions des différents types d'indices statistiques traités dans l'AS

(1) Les *statistiques conditionnelles* correspondent à la probabilité qu'un événement en prédise un autre, comme pour les probabilités transitionnelles qui mesurent la force avec laquelle un élément X prédit un élément Y. Elles aident à regrouper des éléments en structures plus larges, facilitant notamment la segmentation des mots. L'AS conditionnel distingue les régularités adjacentes (éléments contigus liés au développement lexical) des non-adjacentes (éléments distants essentiels pour la morphosyntaxe, tel l'accord sujet-verbe).

Exemple : dans « joli cheval », la probabilité que la syllabe « jo » soit suivie de la syllabe « li » (mot) est plus forte que la probabilité que la syllabe « li » soit suivie de la syllabe « che » (frontière syllabique).

(2) Les *statistiques distributionnelles* reflètent la tendance centrale ou les caractéristiques prototypiques d'un ensemble d'éléments, basées sur la fréquence et la variabilité des exemples dans l'input. Elles favorisent la catégorisation phonémique, grammaticale et la découverte de patterns syntaxiques.

Exemple : en anglais et en français /r/ et /l/ sont deux phonèmes distincts, alors qu'en japonais on ne considère qu'un seul phonème qui est perçu entre /r/ et /l/ par les anglophones ou les francophones.

Selon les domaines d'étude, l'*apprentissage statistique* peut désigner tant les *statistiques conditionnelles* que *distributionnelles*.

(3) L'AS inclut également la *sensibilité aux indices perceptifs* liés à des attributs de l'input, tels que pauses, prosodie, phonotactique et coarticulation, marquant les frontières des mots, clauses ou phrases. Leur traitement participe notablement à la segmentation des mots et à l'acquisition des structures syntaxiques.

MÉCANISMES D'APPRENTISSAGE STATISTIQUE ET ACQUISITION DU LANGAGE

Des mécanismes d'extraction des régularités de l'input langagier seraient efficaces dès le deuxième semestre de vie, permettant à l'enfant de développer son langage sur les plans phonétique, phonologique, phonotactique, lexical et morphosyntaxique (Erickson & Thiessen, 2015; Gervain & Mehler, 2010).

Développement phonétique, phonologique et phonotactique

Le bébé développe les catégories phonémiques propres aux langues de son environnement au cours du deuxième semestre de vie, en se basant notamment sur la fréquence et la variabilité d'un ensemble d'exemples. Le bébé est initialement capable de discriminer les contrastes de phonèmes natifs et non natifs, cette capacité est modelée par le système phonologique natif vers 6 mois pour les voyelles (Kuhl et al., 1992) et vers 10-12 mois pour les consonnes (Werker & Tees, 1984), influencée notamment par la distribution statistique des sons entendus dans l'input langagier. Par exemple, les adultes anglophones et japonophones produisent des sons similaires sur un continuum, classés en

deux catégories distinctes (« r » et « l ») en anglais, mais en une seule en japonais (Eimas, 1975). Ainsi, l'anglais présente une distribution bimodale, avec des fréquences élevées aux extrémités du continuum sonore, tandis que le japonais a une distribution unimodale, concentrée au centre du continuum. Ces différences de fréquence distributive guident l'apprentissage des catégories phonémiques chez les jeunes enfants qui tendent à classer les sons en fonction de leur proximité avec les valeurs modales les plus fréquentes dans leur langue.

Les jeunes enfants sont également sensibles à la cooccurrence des sons dans leur langue. Des études sur les indices de distribution observent que les nourrissons sont sensibles aux patterns phonotactiques des langues, distinguant les séquences phonétiques fréquentes des moins courantes dans leur langue. Par exemple, en français, ils préfèrent les mots bisyllabiques labiaux-coronaux (plus fréquents, ex. /bode/) aux coronaux-labiaux (ex. /dobe/) dès 6 à 10 mois (Nazzi et al., 2009). En outre, les mots avec ce type de patterns phonotactiques fréquents sont appris plus facilement et précocement que ceux moins probables (Gonzalez-Gomez et al., 2013). Cette sensibilité apparaît également au

travers des mesures de la densité de voisinage phonologique (DVP), c'est-à-dire le nombre de mots phonologiquement voisins d'un mot cible. Par exemple, « balle » a 42 voisins (comme « bulle »), alors que « baffle » possède 10 voisins phonologiques (Stokes et al., 2012). Des travaux montrent que le vocabulaire restreint des jeunes enfants comprend majoritairement des mots courts de haute DVP. Selon Storkel (2009), le rôle de la DVP augmente entre 16 et 20 mois puis diminue entre 20 et 30 mois.

Segmentation de la parole

Des expériences montrent la capacité des enfants à s'appuyer sur des indices statistiques tels que les probabilités transitionnelles (c'est-à-dire la probabilité qu'une syllabe prédise la suivante ou la précédente) pour segmenter la parole. Dans l'étude princeps de Saffran et al. (1996), à 8 mois, les enfants sont sensibles aux aspects statistiques d'éléments adjacents dans un langage artificiel. Exposés à quatre pseudo-mots en flux continu, ils réagissent par un temps d'écoute plus long à de nouveaux mots avec un agencement différent des mêmes syllabes.

La littérature décrit également l'intervention d'informations prosodiques telles que le rythme, l'intonation, la pause et le stress lexical dans la segmentation de la parole. Cependant, il existe différentes théories sur la façon dont les mécanismes d'AS et les indices acoustiques interviennent. Selon les théories acoustiques ou phonologiques, les indices prosodiques et phonotactiques priment chez le nourrisson (p. ex., Johnson & Jusczyk, 2001) et permettent de structurer le flux de la parole facilitant l'extraction des régularités statistiques. Selon les approches partisans de l'AS, la sensibilité aux structures statistiques permet à l'inverse de découvrir les régularités prosodiques et phonotactiques d'une langue (p. ex., Thiessen & Saffran, 2003). Au final, il est probable que ces deux types d'indices se complètent et s'étayent. Les nourrissons combinent en fait ces multiples sources d'information pour parvenir à segmenter la parole (p. ex., Morgan & Saffran, 1995).

Développement du lexique

Outre la segmentation du flux de la parole, les mécanismes d'AS interviennent dans le développement du lexique en participant à l'établissement des liens entre les mots et leurs

significations, à la construction des représentations lexicales et en révélant des schémas structurels dans le lexique, tels que les catégories.

Les enfants utilisent notamment les capacités de segmentation de la parole décrites plus haut pour apprendre des mots. Graf Estes et al. (2007) ont observé que des enfants de 17 mois, après exposition à des non-mots dans une tâche de segmentation statistique, ont réussi à relier des objets à leur label quand ils correspondaient aux non-mots entendus, contrairement à ceux exposés à des labels de nouveaux non-mots ou de séquences familières avec de faibles probabilités internes (mots partiels).

Les enfants montrent une sensibilité précoce aux indices distributionnels pour établir des relations entre des unités linguistiques abstraites et des objets de catégories sémantiques différentes. Par exemple, l'étude de Lany & Saffran (2010) montre que les enfants de 22 mois utilisent des indices statistiques internes au langage pour soutenir l'apprentissage lexical. Ils ont exposé les enfants à une langue artificielle avec deux catégories de mots (X et Y). Dans une condition expérimentale, les séquences fournissaient des marqueurs distributionnels fiables pour distinguer ces catégories (a-X et b-Y), alors que ces indices étaient neutralisés dans une condition de contrôle. Par la suite, les enfants ont appris à associer des séquences à des images (X pour des animaux, Y pour des véhicules), puis ils ont été confrontés à des mots inconnus (Z) dans des contextes syntaxiques appris (a-Z pour les animaux, b-Z pour les véhicules). Seuls ceux de la condition expérimentale ont réussi à établir ces associations, montrant leur sensibilité aux indices distributionnels, et à généraliser ces connaissances à de nouveaux mots.

Les régularités statistiques continuent de jouer un rôle dans l'organisation sémantique dans l'enfance. Par exemple, Unger et al. (2020) ont étudié cette contribution chez des enfants de 4 à 7 ans à l'aide de triades d'objets familiers composées d'une cible, d'un distracteur apparenté et d'un distracteur non apparenté. Les cibles et les distracteurs apparentés étaient liés par des cooccurrences associatives systématiques (par exemple, pied-chaussette), une appartenance à une même catégorie taxonomique (par exemple, manteau-chaussette) ou les deux (par exemple, chaussure-chaussette). Les résultats montrent que

les cooccurrences renforcent indépendamment à la fois les relations conceptuelles associatives et taxonomiques.

Développement de la morphosyntaxe

Les indices statistiques dans l'input langagier influencent également le développement de la morphosyntaxe, notamment la distinction des classes grammaticales, l'ordre des mots et les accords verbaux.

Les nourrissons utilisent les caractéristiques statistiques et acoustiques des mots, comme la fréquence et la prosodie, pour différencier les mots de contenu (noms, verbes, adjectifs) des mots outils (prépositions, pronoms, déterminants). Les mots-outils sont fréquents et phonologiquement réduits, tandis que les mots de contenu sont moins fréquents mais prosodiquement saillants. Vers 6–8 mois, les nourrissons reconnaissent les mots-outils de leur langue grâce à leur haute fréquence, s'en servant pour structurer et positionner les autres mots et se montrant capables de généraliser cette connaissance à des langues artificielles ambiguës (Cruz-Pavía et al., 2021). Dès 7–8 mois, ils suivent les distributions de fréquence et préfèrent l'ordre des mots de leur langue maternelle (mots-outils en position initiale pour le français et finale pour le japonais). À 13 mois, cette connaissance guide leurs stratégies d'apprentissage, utilisant des probabilités de transition avant ou arrière selon la langue (Cruz-Pavía et al., 2021). En outre, les enfants de 12 mois sont également capables d'apprendre des probabilités transitionnelles suivant les statistiques séquentielles liées à l'ordre des mots, en l'absence d'indices de classe grammaticale, et généralisent leur apprentissage à de nouveaux stimuli (Gómez & Gerken, 1999).

La sensibilité aux régularités statistiques non adjacentes, c'est-à-dire à des dépendances distantes, a été également proposée comme mécanisme sous-jacent au développement morphosyntaxique. Gómez (2002) a découvert que les enfants de 18 mois détectent les régularités statistiques entre éléments non adjacents dans un langage artificiel, si la variabilité de l'élément qui les sépare est importante dans la phase d'apprentissage ($X = 24$). Exposés pendant trois minutes à un langage artificiel constitué de séries de trois éléments (ex. *pel-kicey-jic*) avec deux dépendances non adjacentes entre le premier et le dernier élément (*aXd*, *bXe*), les enfants ont ensuite montré un intérêt pour la nouveauté avec

des temps d'écoute plus longs pour les séries du langage auxquelles ils n'avaient pas été exposés. La variabilité réduit l'attention portée à l'élément intermédiaire, focalisant ainsi l'attention sur les régularités pertinentes entre les éléments non adjacents, et favorise l'extraction des statistiques conditionnelles. Ce mécanisme s'appliquerait notamment dans l'acquisition de structures morphologiques telles que les terminaisons verbales (ex. *nous jouons*, *nous mangeons*, etc.), où la diversité des exemplaires renforce l'identification de la régularité des relations entre le pronom ou le déterminant et la terminaison (*nous radical+ons*). Des études en langage naturel avec des enfants francophones de 14 à 30 mois ont montré leur sensibilité à l'accord sujet-verbe avec des verbes irréguliers dès 18 mois (Nazzi et al., 2011 ; *le/les* garçons lit/lisent) et la compréhension de l'accord sujet-verbe en position préfixale via la liaison à 30 mois (Legendre et al., 2010 ; *le/les* garçon(s) *il/ils*-embrassent).

Trajectoire développementale de l'AS

Bien que l'AS soit possible à tout âge, du nourrisson à l'adulte, cela ne signifie pas que ces mécanismes soient identiques et fonctionnent de manière uniforme. Les études sur l'évolution de l'AS révèlent des résultats variés, avec notamment des trajectoires développementales différentes en fonction de la modalité des stimuli : l'AS visuel et auditif non linguistique tendrait à s'améliorer durant l'enfance, alors que l'AS auditif linguistique resterait constant (Shufaniya & Arnon, 2018). Toutefois, d'autres études suggèrent plutôt l'existence d'une fenêtre temporelle de sensibilité chez les jeunes enfants qui favoriserait l'acquisition d'une langue, comparée aux apprenants adultes d'une langue seconde (Friederici et al., 2011).

Il ressort cependant que la méthode de mesure de l'AS influence significativement les résultats. Des études montrent des changements de l'AS avec l'âge lors de mesures directes (jugement, choix forcé), mais moins avec des mesures indirectes (temps de réaction, latence des saccades, temps de regard et réponses neuronales pendant la tâche) (Forest et al., 2023). Ceci soulève la question de ce qui est réellement mesuré, l'évolution de l'AS ou celle d'autres fonctions cognitives permettant une amélioration des performances dans des tâches de mesure directe.

Comme mentionné précédemment, diverses études montrent que les enfants sont sensibles

aux propriétés statistiques de l'input linguistique, suggérant un lien entre l'AS et le développement du langage. Toutefois, la simple existence de ces capacités ne suffit pas à démontrer leur rôle dans l'acquisition du langage. Cela nécessite d'établir des corrélations entre les compétences en AS et les performances langagières, en examinant notamment les variations individuelles (Erickson & Thiessen, 2015). Les enfants qui détectent et exploitent le mieux ces régularités via l'AS devraient également être les plus performants en langage.

Mécanismes d'apprentissage statistique et différences individuelles

Initialement centrées sur les performances de groupe, des recherches plus récentes en AS s'intéressent aux différences individuelles, accroissant leur intérêt pour l'orthophonie. Des corrélations de tâches d'AS avec la perception de la parole, l'accès lexical sémantique et phonologique, le développement du vocabulaire et le traitement syntaxique, ont été observées chez l'enfant et l'adulte (Arnon, 2020). Chez les nourrissons, l'AS visuel serait corrélé avec la taille du vocabulaire futur (Ellis et al., 2014) et l'AS auditif prédirait le traitement du langage en temps réel (Lany et al., 2018).

Cependant, Siegelman, Bogaerts, Christiansen et al. (2017) pointent qu'aucune des études à disposition sur les mesures en temps réel n'a contrôlé la fiabilité de ces tâches pour mesurer les capacités individuelles. Pourtant, des considérations méthodologiques et théoriques incitent à la prudence dans l'interprétation des résultats. Les tâches d'AS conçues pour des études de groupe pourraient ne pas refléter précisément les capacités individuelles d'AS par manque de solidité psychométrique et par la présence de confusions structurelles (Siegelman, Bogaerts, Christiansen et al., 2017). D'un point de vue méthodologique, elles manquent souvent de la sensibilité nécessaire pour estimer les capacités d'AS d'un individu donné, ne permettant pas de différencier les bons des mauvais apprenants, ni de prédire avec fiabilité d'autres capacités cognitives.

Pour surmonter les limites méthodologiques, certaines études, comme celle de Siegelman, Bogaerts et Frost (2017), ont modifié leur procédure en augmentant le nombre d'items testés et en minimisant leurs répétitions pour réduire le bruit et maximiser la sensibilité. Ils ont inclus des items de

types et de difficultés différents, afin d'améliorer la discrimination et de tester un panel plus large de capacités d'AS, induisant également ainsi des performances supérieures au hasard chez plus de participants. Néanmoins, une méta-analyse de Isbilen et Christiansen (2022) sur 25 ans de recherche en AS auditif et linguistique n'a pas montré d'effet significatif du nombre d'essais sur les résultats de la phase de test.

Sur le plan structurel, les tâches d'AS sollicitent souvent diverses capacités (perception, encodage, mémoire de travail, gestion d'instructions explicites), risquant d'entraîner des confusions et donc potentiellement des interférences pouvant masquer la capacité d'AS véritable (Siegelman, Bogaerts, Christiansen et al., 2017). Les confusions peuvent aussi surgir lors de mesures "hors ligne" (postérieures au traitement des stimuli), durant lesquelles la répétition des items en phase test peut interférer et induire un apprentissage imprévu. Siegelman, Bogaerts, Christiansen et al. (2017) recommandent des mesures "en ligne" (pendant le traitement des stimuli, p. ex. la mesure du temps de regard) pour solutionner ces problèmes. En outre, Isbilen et Christiansen (2022) observent dans leur méta-analyse que les mesures "en ligne" produisent des effets plus marqués que les mesures "hors ligne" surtout chez les enfants et, en particulier, que les tâches à choix forcé entraînent des effets plus faibles, reflétant les capacités décisionnelles conscientes.

Malgré certaines insuffisances méthodologiques, les mesures d'AS semblent capturer une variation individuelle stable chez les adultes (Siegelman, Bogaerts & Frost, 2017), mais chez les enfants nous manquons encore de preuves. En effet, en évaluant la fiabilité de trois tâches d'AS, Arnon (2020) a trouvé une fiabilité modérée chez les adultes, mais pas de variation individuelle stable entre modalités et types de stimuli chez les enfants, avec une cohérence interne des tâches inférieure aux normes psychométriques et un manque de fiabilité d'une session à l'autre. La différence de fiabilité entre adultes et enfants pourrait être due à la complexité des tâches pour ces derniers, entraînant une part importante d'absence d'apprentissage. Ces constatations soulignent la nécessité de mesures d'AS plus fiables pour prédire et expliquer les différences individuelles et éviter la détection de corrélations qui n'existent pas ou, au contraire, la sous-estimation de corrélations existantes.

Une approche connexe pour comprendre les différences individuelles, intéressant particulièrement les orthophonistes, est l'étude des populations cliniques. Ces études examinent si des faiblesses en AS peuvent contribuer à expliquer les déficits langagiers, notamment chez les parleurs tardifs et les personnes avec trouble développemental du langage, ainsi que dans d'autres troubles neurodéveloppementaux.

MÉCANISMES D'APPRENTISSAGE STATISTIQUES ET DÉVELOPPEMENT RETARDÉ OU ATYPIQUE DU LANGAGE

Début de développement langagier tardif et trouble développemental du langage

Entre 18 et 35 mois, certains enfants, appelés parleurs tardifs (PT), présentent un retard dans le développement expressif du langage, sans déficits sensoriels, neurologiques ou intellectuels connus (Rescorla, 2011). Ce retard peut être uniquement expressif ou inclure des difficultés réceptives (Desmarais et al., 2008). Les premiers indicateurs sont un retard d'apparition des premiers mots, une croissance lente du vocabulaire et un retard d'apparition des combinaisons de mots. La prévalence des PT, variable selon les études en fonction des critères utilisés pour identifier le retard et de l'âge, est estimée entre 10 et 20 % chez les enfants de 24 mois (Collisson et al., 2016; Rescorla, 2011).

Vers 4-5 ans, lorsque les difficultés langagières persistent en l'absence d'étiologie biomédicale ou de déficience intellectuelle connue, on parlera alors de trouble développemental du langage (TDL) (Bishop et al., 2017), avec une prévalence estimée entre 3 et 8 %.

Seule une partie des PT présentera un TDL (Sylvestre et al., 2018) dont la prévalence varie largement (3,7 à 66 %) selon les définitions et les méthodes utilisées, ainsi que l'âge (Fisher, 2017; Rescorla, 2011). Toutefois, même chez les PT qui ne développeront pas un TDL, des études ont observé de moins bons résultats aux mesures du langage que chez leurs pairs au développement typique (DT). Différencier les enfants qui rattraperont leur retard de ceux évoluant vers un TDL demeure complexe, malgré l'identification de facteurs associés comme les capacités phonologiques et de communication gestuelle (Desmarais et al., 2008).

S'il n'y a pas de consensus sur les causes des TDL et que celles-ci sont probablement multiples, de plus en plus de chercheurs et chercheuses s'intéressent aux déficits dans des mécanismes cognitifs généraux dont l'apprentissage implicite et l'extraction des régularités statistiques de la langue (Gabriel & Urbain, 2012).

Parleurs tardifs et apprentissage statistique

Il existe peu d'études concernant l'AS chez les PT. Celles-ci se sont majoritairement intéressées au développement du lexique expressif, s'agissant du premier indicateur évident du retard.

Stokes (2010) a observé que les PT anglophones à 24 mois exploitent différemment les indices statistiques lexicaux de densité du voisinage phonologique (DVP) et de fréquence des mots (FM), de leurs pairs du même âge avec un vocabulaire plus développé, ce qui pourrait expliquer leur acquisition lexicale plus lente. Les enfants ayant un faible score en vocabulaire avaient appris des mots ayant une forte DVP dans l'environnement langagier, mais sans tendance claire pour la FM, alors que les enfants ayant un score élevé en vocabulaire ont appris des mots ayant une faible valeur de DVP et une forte FM. Ces résultats ont été retrouvés dans d'autres langues, dont le français (Stokes et al., 2012). Sur la base de ces résultats, Stokes et collaborateurs ont proposé une théorie de l'apprentissage statistique prolongé (Theory of Extended Statistical Learning) pour expliquer la lenteur de la croissance du vocabulaire. Ils suggèrent que ces enfants lents à apprendre du vocabulaire seraient lents à capitaliser sur les régularités statistiques de l'input et à utiliser l'AS et, ensuite, qu'ils seraient lents à changer de stratégies, montrant ainsi une période d'AS prolongée qui les gêne dans l'apprentissage de mots provenant de voisinages peu denses (Stokes et al., 2012). Cette lenteur pourrait résulter de capacités de mémoire de travail inférieures, affectant l'association entre forme et référent des mots issus de voisinages peu denses. D'ailleurs, des déficits de mémoire de travail pourraient également sous-tendre les difficultés à utiliser des indices statistiques dans l'input chez les enfants avec TDL (Hsu & Bishop, 2010).

MacRoy-Higgins et al. (2013) ont également observé que les PT à 24 mois n'exploitent pas la DVP comme leurs pairs au DT lors de tâches de compréhension, de production et de reconnaissance de mots. Les enfants au DT ont

montré une meilleure production de la parole et une plus grande sensibilité aux erreurs de prononciation pour les séquences à forte DVP que pour celles à faible DVP, alors que la DVP n'a pas eu d'influence pour les PT. Ces résultats corroborent l'hypothèse que l'apprentissage lexical plus lent des PT pourrait être attribué à des difficultés à discriminer les propriétés statistiques de leur langue.

Trouble développemental du langage et apprentissage statistique

Modèles rendant compte de l'implication de l'AS dans les TDL

Différents modèles tentent de rendre compte de l'implication de l'apprentissage implicite (statistique ou procédural) dans le TDL. Par exemple, Erickson et Thiessen (2015) suggèrent que les déficits d'acquisition du langage peuvent être expliqués par des difficultés à s'adapter à la structure statistique de l'environnement linguistique, conformément à leur modèle d'extraction et d'intégration (qui s'intéresse aussi au développement typique, mais non abordé ici). La segmentation de la parole, l'apprentissage du lexique et des structures syntaxiques sont affectés, avec une distinction entre l'extraction, cruciale pour le vocabulaire, et l'intégration, davantage liée à la syntaxe. Ils mettent toutefois en garde contre une interprétation simpliste de ces liens, soulignant la complexité étiologique des troubles du langage, où les déficits d'AS ne seraient qu'un des facteurs découlant possiblement de déficits perceptifs ou phonologiques.

De leur côté, Ullman et Pierpont (2005) avancent l'hypothèse du déficit procédural, liant les TDL à des anomalies des structures cérébrales soutenant la mémoire procédurale, essentielle pour le stockage et la récupération des régularités statistiques et basées sur des règles, notamment pour la grammaire et la phonologie. Ils suggèrent que, chez les personnes avec TDL, la mémoire procédurale (mais pas la mémoire déclarative) est altérée, ce qui expliquerait leurs difficultés grammaticales. Cependant, des recherches ultérieures indiquent que certains aspects du lexique pourraient aussi être affectés par des déficits de la mémoire procédurale, notamment dans le traitement séquentiel lexico-phonologique, influençant la reconnaissance des mots et l'apprentissage lexical (Ullman et al., 2020).

L'hypothèse d'un déficit de l'AS chez les personnes avec TDL a donné lieu à différentes études chez l'enfant, l'adolescent et l'adulte, qui ont utilisé des méthodologies variées en termes de type de tâches, de modalités, de méthodes de mesures, obtenant des résultats hétérogènes, voire antagonistes. Des méta-analyses récentes (dont une, reprenant celles antérieures, est présentée ci-dessous) commencent à offrir une vision à la fois plus large et plus précise et participent à la remise en cause de la vision de l'AS comme un mécanisme général unique. Il ressort notamment des différences notables entre les statistiques conditionnelles et distributionnelles.

Statistiques conditionnelles

Les recherches en clinique se sont principalement concentrées sur les capacités d'AS conditionnelles, trouvant que les personnes avec TDL éprouvent plus de difficultés que celles au DT. Dans une méta-analyse sur 75 études, West et al. (2021) ont trouvé des déficits modérés en AS chez les personnes avec TDL ou troubles de la lecture, particulièrement dans certaines tâches d'AS, comme la grammaire artificielle. Cependant, des déficits moins importants ont été notés pour le temps de réaction sériel et l'apprentissage de Hebb (rappel de séquences d'items répétés vs non répétés). La spécificité des tâches a été soulignée, avec des déficits souvent limités à une tâche spécifique. Les études corrélationnelles qui explorent la relation entre l'AS et les aptitudes linguistiques dans des échantillons non sélectionnés en fonction des aptitudes, montrent des résultats variés avec peu ou pas de corrélation entre les capacités linguistiques et l'AS dans certaines tâches, et des corrélations modérées dans d'autres, comme celles de grammaire artificielle également. Selon les auteurs, les preuves disponibles sont insuffisantes pour incriminer un déficit global d'AS comme potentielle cause sous-jacente aux TDL. Néanmoins, les personnes avec TDL montrent une sensibilité moindre à certaines structures statistiques comme les dépendances non adjacentes, cruciales pour l'apprentissage de la morphosyntaxe (comme décrit auparavant) (Lammertink et al., 2020).

Statistiques distributionnelles

Les recherches sur l'utilisation des statistiques distributionnelles par les personnes avec TDL sont plus rares et il manque des méta-analyses dans ce domaine. Néanmoins, une étude de Hall et

al. (2018) utilisant un paradigme d'apprentissage de grammaire artificielle a révélé que tant les enfants que les adultes avec TDL peuvent, tout comme leurs pairs au DT, différencier les séquences grammaticales des non grammaticales. Cela indique que les personnes avec TDL sont capables de catégoriser grammaticalement de nouvelles données et d'exploiter les informations distributionnelles. Cette découverte appuie les conclusions antérieures qui avaient déjà souligné la capacité des participants avec TDL à traiter efficacement des statistiques distributionnelles, malgré des difficultés avec d'autres types de données statistiques (Hsu & Bishop, 2014; Ullman & Pierpont, 2005).

Hypothèses explicatives des différences entre statistiques conditionnelles et distributionnelles

Ces différences de performances dans le traitement des statistiques conditionnelles et distributionnelles appuient l'hypothèse que différents mécanismes soutiennent différents types d'apprentissages et peuvent être altérés ou préservés chez les personnes atteintes de TDL.

Selon l'hypothèse du déficit procédural, l'organisation spatio-temporelle des stimuli pourrait influencer les performances (Ullman & Pierpont, 2005). Hsu et Bishop (2014) ont notamment mis en évidence des difficultés dans l'apprentissage procédural d'informations séquentielles chez les enfants avec TDL, mais pas d'informations non séquentielles, suggérant que les statistiques distributionnelles (non séquentielles) peuvent être apprises malgré les défis rencontrés avec les statistiques conditionnelles (séquentielles). Dans la perspective du modèle d'extraction et d'intégration, des atteintes distinctes ou associées des processus d'extraction, d'association, de catégorisation et/ou d'intégration entraîneraient des schémas distincts de perturbation des mécanismes d'AS (Erickson & Thiessen, 2015).

Considérer l'application des principes de l'AS pour les enfants avec des difficultés d'apprentissage

Malgré les défis observés chez les enfants avec TDL pour détecter certaines structures statistiques, des recherches indiquent qu'il est possible d'améliorer, voire de normaliser leur apprentissage en utilisant des méthodes s'inspirant de l'AS, notamment celles qui accentuent la saillance de ces structures. Bien que l'apprentissage se produise sans ces principes, leur application pourrait le rendre

plus efficace. Alt (2018a) souligne que ce type d'apprentissage, déjà présent chez le bébé, ne doit pas être considéré comme trop complexe pour les populations affichant des déficits dans certaines formes d'AS, telles que celles avec TDL, troubles du spectre autistique, dyslexies, implants cochléaires ou déficiences intellectuelles. Les enfants avec des difficultés d'apprentissage peuvent nécessiter davantage d'informations ou des types de données différents, mais cela n'exclut pas l'utilisation de l'AS comme outil de traitement.

APPLICATION DANS L'INTERVENTION ORTHOPHONIQUE

Intégration des caractéristiques de l'AS dans le traitement

Des recherches sur l'efficacité des thérapies langagières comparant diverses modalités d'intervention (type, contenu, durée, intervenant, âge) révèlent des résultats mitigés et variables, indiquant une plus grande efficacité sur le langage expressif que réceptif, sur la phonologie et le vocabulaire que la syntaxe (Zhang et al., 2021). Les traitements de longue durée semblent plus efficaces, mais la généralisation des apprentissages reste un défi peu exploré. Un manque de connexion entre recherches clinique et fondamentale sur l'apprentissage langagier participe probablement à ces résultats inégaux (Plante & Gómez, 2018). Dès lors, l'intégration des principes d'AS dans les thérapies orthophoniques pourrait améliorer leur efficacité en exploitant ces mécanismes d'apprentissage. Cette approche, qui valorise la complexité de l'input plutôt que de se limiter aux éléments les plus simples et précoces, contraste avec les approches développementales traditionnelles. Il est donc crucial de réfléchir à comment intégrer les mécanismes d'AS dans les pratiques orthophoniques pour favoriser un apprentissage rapide et généralisable.

Dans un numéro spécial de la revue *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, Plante et Gómez (2018) présentent cinq principes dérivés de la recherche sur l'AS utiles pour les thérapies orthophoniques : régularité, variabilité, entrée I, entrée II et mémoire, soulignant l'importance d'accroître la saillance statistique de l'input thérapeutique pour stimuler l'apprentissage et la généralisation. Ces principes suggèrent de privilégier l'input reçu par l'enfant plutôt que de se concentrer exclusivement sur ses productions, bien que celles-ci restent essentielles pour évaluer

les progrès. L'orthophoniste doit donc enrichir l'environnement linguistique offert à l'enfant, en mettant l'accent sur la reconnaissance des structures linguistiques plutôt que sur la répétition d'une cible (principe également présent dans la théorie usage et construction, Leroy et al., 2009). Cette approche encourage à se focaliser sur l'input pour améliorer la production, intégrant ainsi des aspects de l'apprentissage statistique dans la pratique thérapeutique.

Principe de régularité

Le principe de régularité combine les notions de fréquence et de cohérence qui vont notamment permettre d'identifier les traits communs aux différents éléments d'une même catégorie sémantique (p. ex. différencier les chiens et les chats, tout en les considérant comme des animaux). Les enfants au DT intègrent implicitement les caractéristiques qui apparaissent avec régularité dans leur environnement. En revanche, les enfants avec TDL semblent avoir besoin de plus d'exposition que leurs pairs au DT pour apprendre via l'AS. Pour la thérapie, il est suggéré que les éléments cibles, tels que les mots ou les structures syntaxiques, soient présentés plus fréquemment et de manière plus cohérente (ils sont l'événement le plus constant auquel l'enfant est confronté pendant la séance) que dans l'environnement naturel. La quantité d'exposition requise peut varier selon l'objectif spécifique. Ainsi, certaines recherches indiquent qu'une fréquence élevée d'exposition améliore l'apprentissage lexical chez les jeunes enfants (p. ex. 9 occurrences du mot cible par minute par séance au cours de 16 séances (VAULT ; Alt et al., 2020)), notamment chez ceux avec un retard d'acquisition du vocabulaire (Yim & Yang, 2021). Il en est de même avec d'autres fréquences pour l'apprentissage morphosyntaxique (p. ex. 24 verbes différents durant une séance, ciblant un morphème flexionnel de temps ou de personne ou un auxiliaire ou un pronom personnel). Cependant, ce type d'apprentissage pourrait être moins efficace pour enseigner des catégories grammaticales entières comme les pronoms ou certaines formes verbales, où la présentation de multiples exemplaires dans une session pourrait diluer la fréquence et la cohérence. Toutefois, des études sur des apprenants au DT suggèrent que l'apprentissage d'une structure peut faciliter l'acquisition de structures apparentées (Lany & Gómez, 2008), laissant supposer qu'une approche

ciblée sur une structure à la fois pourrait être plus bénéfique que d'essayer d'enseigner plusieurs cibles liées simultanément.

Principe de variabilité

Le principe de variabilité s'articule à partir du principe de régularité, en s'intéressant aux éléments de l'input qui ne sont pas la cible de l'apprentissage. Il défend que l'apprentissage de la cible est favorisé par une grande variabilité des éléments non ciblés, favorisant ainsi la saillance de la régularité de la cible au sein de l'input. On s'appuie ainsi sur une pierre angulaire de l'AS qui présume que les apprenants repèrent ce qui est régulier dans l'input et ignorent ce qui est variable. Il s'agit donc d'inclure de la variabilité dans les données de l'input non ciblées. Intuitivement, on pourrait avoir tendance à penser que fournir des exemples nombreux et variés aux enfants avec des difficultés d'apprentissage du langage pourrait les surcharger et empêcher l'apprentissage. Cependant, il semblerait que cette « surcharge » soit justement bénéfique, car elle encouragerait ces personnes à s'intéresser aux aspects les plus réguliers de l'input et renoncer à tenter de mémoriser chaque son ou syllabe entendu. Notamment, concernant le vocabulaire, une présentation fréquente du mot cible (de 4,85 à 14,67 par minute) dans divers contextes linguistiques augmenterait l'apprentissage chez les jeunes enfants parleurs tardifs (Alt et al., 2014). De plus, des sessions riches en exemples variés du mot cible, intégré dans différentes phrases et activités ludiques, ont abouti à une acquisition accrue du vocabulaire ciblé. Pour la morphosyntaxe également, varier les contextes linguistiques (notamment les verbes et les groupes nominaux sujets ou compléments d'objet), tout en maintenant une fréquence élevée d'occurrence de la structure cible, telle que des marqueurs de morphologie flexionnelle pourrait faciliter l'apprentissage et la généralisation à de nouveaux exemples non traités. Bien que le nombre exact d'exemples nécessaires pour optimiser l'apprentissage reste à définir et puisse varier selon la cible linguistique, les recherches suggèrent qu'une fourchette de 12 à 24 exemples pourrait être nécessaire pour l'apprentissage, avec potentiellement davantage d'exemples pour des objectifs morphosyntaxiques (Plante et al., 2014). Cependant la variabilité, même limitée à trois exemplaires physiques différents d'un objet, a été trouvée bénéfique pour l'apprentissage de mots (Aguilar et al., 2018). Ainsi,

il paraît d'ores et déjà intéressant d'intégrer autant de variabilité que possible dans les interventions orthophoniques.

Principe d'input I : tout input est de l'input quand l'apprentissage est implicite

Le principe d'input I souligne que, dans un contexte d'apprentissage implicite, tous les éléments linguistiques auxquels un enfant est exposé sont considérés comme pertinents pour l'apprentissage, y compris les incohérences et les irrégularités de la langue apprise. Ce principe repose sur la difficulté à distinguer les formes linguistiques correctes des formes incorrectes, même chez les apprenants au DT. Par exemple, les enfants ne pourraient efficacement généraliser des règles grammaticales que lorsque les contre-exemples représentent moins de 17 % de l'input (Gómez & Lakusta, 2004). Ainsi, même si nous en savons peu concernant l'impact des exceptions sur l'apprentissage des patterns dominants de leur langue chez les personnes avec TDL, les contre-exemples dans l'input thérapeutique peuvent interférer avec l'apprentissage, suggérant la pertinence de minimiser ces exceptions pour faciliter l'acquisition des structures cibles.

Principe d'input II : l'input à lui seul peut influencer sur la production

Dans la pratique clinique orthophonique, il est communément admis que pour développer les performances expressives, il est nécessaire d'entraîner la production. Dans l'AS, l'attention est portée sur les caractéristiques de l'input, qui permettent de construire des représentations internes sur lesquelles les généralisations vont pouvoir s'appuyer. Il est courant que les enfants avec TDL apprennent les énoncés particuliers travaillés en thérapie, mais ne parviennent pas à généraliser, indiquant qu'ils n'ont pas construit de représentations internes assez solides. Ainsi, des études ont observé que l'exposition à un certain input favorise sa production, tant pour les structures morphosyntaxiques que pour les patterns phonologiques. Sélectionner les éléments de thérapie basés sur leurs propriétés statistiques, comme la fréquence et la complexité, plutôt que sur leur pertinence scolaire ou thématique, peut améliorer l'apprentissage. Par exemple, l'utilisation de verbes statistiquement « difficiles » (moins fréquents, atéliques et phonologiquement complexes) a favorisé l'acquisition de formes grammaticales chez des enfants anglophones

(Owen Van Horne et al., 2018). Il a également été observé que les approches axées sur l'input sont plus efficaces à moyen terme que celles basées sur la production en imitation. Ainsi, pour l'apprentissage implicite du langage, la répétition directe ne serait pas cruciale, rendant l'AS particulièrement intéressant pour les enfants peu ou pas verbaux ou mal à l'aise en production en début de traitement. Cependant, la réactivation des souvenirs des cibles nouvellement apprises favoriserait leur mémorisation (Plante & Gómez, 2018).

Le principe de mémoire : les schémas appris doivent être codés dans la mémoire pour pouvoir être utilisés ultérieurement

Le principe de mémoire met en avant que, pour qu'un apprentissage soit efficace, les structures linguistiques apprises doivent être encodées et stabilisées dans la mémoire. L'AS nécessite de pouvoir mémoriser les patterns linguistiques identifiés dans l'input. Cependant, les recherches indiquent souvent une mémoire verbale et des capacités d'encodage en mémoire à long terme réduites chez les personnes avec TDL (Alt, 2011). Pour consolider ou corriger les connaissances, il est crucial de permettre aux apprenants de produire activement les cibles linguistiques. Bien que la production d'un nouveau mot à une seule reprise puisse aider les enfants au DT à se souvenir de ce mot un mois plus tard, la fréquence optimale de rappel pour maximiser l'apprentissage chez les enfants avec TDL reste indéterminée. Toutefois, Plante et Gómez (2018) mettent en garde contre le risque de désengagement induit par des demandes explicites de production ou de répétition trop fréquentes, ainsi que contre le potentiel renforcement des erreurs linguistiques par des productions incorrectes répétées.

Plante et Gómez (2018) ont mis en avant la pertinence de l'AS pour la clinique orthophonique, s'appuyant sur des recherches récentes. Cependant, l'intégration des caractéristiques de l'AS dans les traitements pour les enfants avec TDL avait déjà été initiée il y a 20 ans. Ainsi, Fey et al. (2003) ont proposé dix principes pour faciliter l'apprentissage de la grammaire chez des enfants avec TDL, dont deux se réfèrent à des caractéristiques de l'AS sans le nommer. Ils ont en effet préconisé de travailler sur des patterns (objectifs intermédiaires) au-delà d'items spécifiques et de manipuler le contexte pour augmenter les occasions d'apprentissage. Ceci correspond déjà en partie au principe

de régularité de Plante et Gómez (2018), avec l'idée d'une fréquence augmentée par rapport à l'environnement ambiant naturel, mais plutôt tournée vers les opportunités de production que vers les occurrences dans l'input. Plus récemment, Finestack et al. (2024) y ont ajouté cinq principes inspirés par ceux de Plante et Gómez, comme l'utilisation de verbes uniques et de difficulté variable, et la variation de la structure syntaxique, dans le cadre d'un essai clinique avec des enfants anglophones avec TDL, sans toutefois partager les résultats quant à l'apprentissage par leurs participants. Moyle et al. (2011) quant à eux, suggèrent d'explorer l'enseignement de mots de haute et de basse densités de voisinage aux enfants parleurs tardifs, dans le but d'explorer les mécanismes d'apprentissage des enfants.

Intervention directe sur les capacités d'AS

Si les aptitudes en AS sont positivement associées aux compétences en langage oral, renforcer les premières pourrait a priori être bénéfique pour améliorer les secondes. Une question majeure est donc de déterminer si l'AS peut être directement entraîné par des interventions spécifiques. Deux types d'interventions neurocognitives commencent à être explorées : l'entraînement informatisé et la stimulation neurale, majoritairement chez les adultes (Deocampo et al., 2018). Des études montrent des améliorations dans l'AS et le traitement du langage à la suite d'un entraînement informatisé. Par exemple, exposer des adultes à des grammaires artificielles améliore leur capacité à traiter des structures grammaticales spécifiques (Onnis et al., 2015) et, chez des patients avec aphasie de Broca, un entraînement direct de l'AS a amélioré à la fois les performances d'AS et leur compréhension d'un certain type de structure syntaxique en langue naturelle (Hoen et al., 2003). Des recherches indiquent également que l'entraînement à des séquences visuospatiales peut affecter positivement le traitement de séquences structurées et le traitement du langage chez l'adulte, bien que l'interférence soit plus complexe qu'attendue et nécessite davantage d'études (Smith et al., 2015).

Selon quelques études, les réponses électrophysiologiques cérébrales suggèrent un chevauchement des mécanismes neuronaux pour l'AS et le langage, soulignant l'importance des régions cérébrales communes dans l'entraînement de l'AS pour améliorer les fonctions linguistiques (Smith, 2017). Ces études sont inspirées de la

recherche plus fournie sur l'entraînement informatisé de la mémoire de travail. On relève que, bien que l'entraînement informatisé de la mémoire de travail ait montré des transferts de compétences dans des tâches similaires, les transferts vers des fonctions cognitives plus éloignées restent limités. Similairement, bien que ce type d'entraînement de l'AS montre des progrès dans des tâches proches, les améliorations dans des domaines cognitifs plus éloignés demeurent restreintes chez l'adulte et l'enfant (Aksayli et al., 2019).

Un second type d'intervention neurocognitive exploré pour améliorer l'AS est la stimulation neurale, une méthode non invasive qui module l'activité cérébrale via l'application de courant électrique ou de champs magnétiques. Cette technique peut améliorer la fonction neurocognitive en augmentant ou en diminuant l'excitabilité neuronale. L'aire de Broca, impliquée dans l'AS et le langage, est une cible prometteuse pour cette stimulation. En effet, des études ont montré que la stimulation de cette aire peut affecter la performance dans des tâches d'AS chez l'adulte (Uddén et al., 2017), comme l'amélioration de la classification dans l'apprentissage de grammaires artificielles ou l'altération de la discrimination de dépendances non adjacentes dans un langage artificiel, soulignant son rôle clé dans l'apprentissage de structures morphosyntaxiques.

DISCUSSION

Évolutions théoriques sur l'AS

La sensibilité humaine aux régularités environnementales et son intervention dans le développement du langage fait aujourd'hui consensus, établissant l'AS comme un fondement de l'acquisition linguistique. Cependant, malgré son importance reconnue, l'examen de la littérature révèle, à la lumière des études et des méta-analyses croissantes, que des questions majeures demeurent sur la nature et le fonctionnement de l'AS.

Initialement, l'AS est considéré comme un mécanisme cognitif général unitaire permettant de détecter les régularités dans l'environnement dans toutes les modalités. Toutefois, il ressort actuellement qu'il ne s'agit probablement pas d'un mécanisme unitaire, mais plutôt d'un faisceau de mécanismes spécifiques au type et à la modalité des régularités statistiques traitées.

En effet, un nombre croissant de preuves montre une faible corrélation entre les performances d'AS en modalités visuelle et auditive, ainsi que verbale et non verbale (West et al., 2021), questionnant la validité de certaines conclusions sur les liens entre compétences d'AS, dans des modalités non linguistiques ou avec des structures statistiques hétérogènes, et compétences langagières.

Il apparaît également que les variations méthodologiques, notamment la méthode de mesure, influencent fortement les performances d'AS, soulevant des interrogations sur ce qui est réellement évalué : l'AS ou d'autres fonctions cognitives (perception, encodage, mémoire de travail, gestion d'instructions explicites, langage). D'ailleurs, même si un consensus s'imposait sur un déficit d'AS chez les personnes avec TDL, distinguer si ce déficit est cause ou conséquence des troubles langagiers resterait délicat. En effet, les difficultés en AS pourraient refléter un problème plus général d'apprentissage verbal, les effets étant plus marqués pour les stimuli verbaux que non verbaux dans la littérature (West et al., 2021).

Néanmoins, des études sur les PT révèlent des particularités dans l'utilisation des propriétés statistiques dans l'acquisition du lexique et demanderaient à être développées. Concernant les TDL, les preuves croissantes pointent des difficultés d'AS de plus en plus nuancées et également dépendantes du type de structure statistique et du type de tâche.

Application à la clinique

Bien qu'il reste encore du chemin pour comprendre pleinement les mécanismes d'AS, quelques études font émerger la pertinence d'appliquer des principes liés aux caractéristiques statistiques de l'input dans l'intervention orthophonique.

Dans un numéro consacré à l'AS pour les cliniciens, Alt (2018b) fait ressortir cinq principes à intégrer dans les thérapies logopédiques pour favoriser l'apprentissage (développés dans Plante & Gómez, 2018) :

1. Se concentrer sur l'input.
2. Ne pas supposer que ce type d'apprentissage est trop difficile pour les enfants souffrant de déficiences.
3. Incorporer des éléments d'apprentissage statistique dans le traitement :

- Inclure la régularité et la cohérence concernant les éléments de l'input ciblés par l'intervention,
- Inclure la variabilité concernant les éléments de l'input non ciblés par l'intervention,
- Limiter l'utilisation de contre-exemples,
- Fournir un dosage adéquat (probablement plus important qu'habituellement),
- Permettre la réactivation des souvenirs des cibles nouvellement apprises,
- Choisir les éléments de traitement en fonction de leurs caractéristiques statistiques.

4. Penser à l'apprentissage statistique pour de nombreux besoins linguistiques.

5. Se tenir au courant de la littérature.

Des recherches supplémentaires sont requises pour affiner l'approche selon l'âge et les populations ainsi que pour mieux préciser l'ajustement des fréquences et des dosages en fonction des domaines. Toutefois, nous pouvons déjà bénéficier de résultats cohérents pour l'apprentissage lexical chez les jeunes enfants et certains aspects morphosyntaxiques.

Les interventions neurocognitives, comme l'entraînement informatisé et la stimulation neurale, ont quant à elles montré des effets sur les capacités d'AS et des tâches de langage similaires chez l'adulte ; et ce serait assurément un atout que de pouvoir intervenir directement sur les mécanismes d'AS. Toutefois, le transfert à d'autres domaines non directement adressés semble limité, nécessitant davantage de recherches sur le maintien à long terme, mais aussi chez l'enfant.

Perspectives pour le dépistage et le diagnostic

Si les premiers signes de difficultés langagières sont le retard dans l'émergence des premiers mots et des premières associations de mots, avant 4 ans les différences interindividuelles sont importantes. De plus, les difficultés langagières ne se caractérisent pas seulement par ces mesures quantitatives, mais aussi par des difficultés de traitement et de mémorisation de l'information. Pour le dépistage, il serait donc intéressant de pouvoir identifier précocement les jeunes enfants PT qui présentent des particularités dans leur traitement de l'input, ce qui favoriserait notamment les interventions précoces de prévention. En

outre, avant 4-5 ans la distinction entre les enfants PT qui développeront ou non un TDL demeure un défi diagnostique pour les orthophonistes, du fait de l'hétérogénéité des TDL rendant difficile l'identification de prédicteurs fiables. C'est pourquoi, des chercheurs et chercheuses s'intéressent aux déficits de mécanismes cognitifs généraux impliqués dans l'apprentissage du langage, y compris l'apprentissage implicite et notamment l'extraction des régularités statistiques. Toutefois, à notre connaissance, il n'existe pas d'étude comparant les compétences d'AS de PT ayant développé ou non un TDL.

Ainsi, une des perspectives de recherche sur l'AS qui profiterait grandement à la clinique orthophonique serait de pouvoir potentiellement identifier des profils d'apprentissage statistique différents chez les enfants PT et avec TDL. Pour cela, il est nécessaire de développer des méthodologies permettant de capter les différences individuelles chez des jeunes enfants et de les appliquer, notamment, à des études longitudinales suivant des enfants PT potentiellement à risque de TDL.

Il s'agit donc déjà de déterminer si les mesures actuelles de l'AS prédisent efficacement les différences individuelles dans les capacités langagières (Siegelman, Bogaerts, Christiansen et al., 2017). Pour développer des tâches valides, il est notamment crucial de déterminer si l'AS est un dispositif computationnel général unitaire ou un ensemble de mécanismes spécifiques à la modalité et/ou à la structure des tâches. Par exemple, Bogaerts et al. (2022) discutent la possibilité qu'un facteur général d'AS comparable au facteur général d'intelligence ou de mémoire de travail puisse exister, ce qui aurait des implications théoriques et pratiques d'une portée majeure. Cependant, les preuves tendent à montrer que l'AS implique différents mécanismes selon les régularités statistiques traitées. Alors, utiliser des mesures multiples de tâches multiples sur les mêmes participants est donc essentiel pour vérifier cette hypothèse et élaborer des tâches robustes.

Outre les questions théoriques, des défis méthodologiques restent encore à relever pour obtenir des tâches solides sur le plan psychométrique. Un des principaux problèmes est que les tâches d'AS ont été développées pour maximiser la découverte de petites différences entre des groupes et ne sont donc pas bien conçues pour évaluer les capacités individuelles. Il serait dès lors important d'étudier plus avant

les propriétés psychométriques des tâches d'AS existantes et de développer de nouvelles tâches mieux adaptées à l'évaluation des différences individuelles, en particulier chez les jeunes enfants, en tenant notamment compte du type de mesure (« en ligne » vs « hors ligne »). En effet, les mesures utilisées doivent avoir une validité et une fiabilité adéquates, pour ne pas conduire à des conclusions erronées.

Malgré les défis restants, il est important de garder en tête que les prédicteurs non linguistiques utilisés actuellement comme points de référence pour évaluer les variations individuelles ont été développés pendant des années dans ce but spécifique, nécessitant des tests extensifs, avec des variations méthodologiques subtiles des tâches, afin d'en renforcer les propriétés psychométriques et notamment d'en affiner la sensibilité (Cristia et al., 2014).

Limites du présent article

Certaines limites méthodologiques doivent être considérées concernant cette revue narrative de littérature. Le choix des études présentées repose sur une sélection basée sur leur pertinence pour les questions traitées, mais sans application systématique d'une grille d'évaluation. De plus, la sélection et l'évaluation de la qualité des études ont été réalisées par une seule personne, ce qui peut constituer un biais. Un double contrôle et l'utilisation d'outils d'évaluation critique standardisés (voir par exemple, JBI, s. d.) auraient permis une meilleure reproductibilité et plus grande objectivité des conclusions. En outre, la littérature grise n'a pas été incluse car elle est difficile d'accès, ce qui engendre un biais de publication. En effet, les revues scientifiques publient préférentiellement les études rapportant des résultats significatifs, cela peut engendrer une vision partielle, voire biaisée, de l'état des connaissances.

CONCLUSION

L'AS est un ensemble de mécanismes puissants qui permet à la plupart des individus d'apprendre en quelques minutes et sans effort conscient d'apprentissage, offrant ainsi une méthode rapide et efficiente avec peu de demandes comportementales. Ce mécanisme, utile pour l'apprentissage du langage oral, mais aussi de la lecture et de l'orthographe, ne vise pas à remplacer l'apprentissage explicite mais à le compléter. Comprendre l'AS permet aux orthophonistes

d'élaborer des interventions qui exploitent le potentiel de ce dernier, offrant des avantages comme un apprentissage efficace, la généralisation des acquis et une concentration sur l'input, réduisant ainsi les demandes faites à l'apprenant. Bien que des recherches supplémentaires soient nécessaires, les preuves actuelles encouragent déjà l'intégration de ces principes dans la pratique clinique. Dans l'avenir, le développement de tâches d'AS ciblées et robustes qui corréleront avec les différents domaines langagiers et permettent d'évaluer les performances individuelles serait une avancée formidable pour le dépistage et l'intervention précoce.

DÉCLARATION D'INTÉRÊTS

L'autrice a déclaré n'avoir aucun lien d'intérêt en relation avec cet article.

FINANCEMENTS

Cet article fait partie d'un projet de thèse de doctorat par articles, financé par un subside Doc. CH du Fond National Suisse (FN PONEP1_178712).

REMERCIEMENTS

Je remercie Delphine Hoarau pour sa relecture attentive et Open AI pour son outil ChatGPT d'une aide certaine pour la réduction du nombre de mots dans cet article.

RÉFÉRENCES

- Aguilar, J. M., Plante, E., & Sandoval, M. (2018). Exemplar variability facilitates retention of word learning by children with specific language impairment. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 49(1), 72-84. https://doi.org/10.1044/2017_LSHSS-17-0031
- Aksayli, N. D., Sala, G., & Gobet, F. (2019). The cognitive and academic benefits of Cogmed: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 27, 229-243. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2019.04.003>
- Alt, M. (2011). Phonological working memory impairments in children with specific language impairment: Where does the problem lie? *Journal of Communication Disorders*, 44(2), 173-185. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2010.09.003>
- Alt, M. (2018a). Statistical learning: How it relates to speech-language pathology. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 49(3S), 631-633. https://doi.org/10.1044/2018_LSHSS-STLT1-18-0040
- Alt, M. (2018b). Take home points: How to use statistical learning. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 49(3S), 754-756. https://doi.org/10.1044/2018_LSHSS-STLT1-18-0046
- Alt, M., Mettler, H. M., Erikson, J. A., Figueroa, C. R., Etters-Thomas, S. E., Arizmendi, G. D., & Oglivie, T. (2020). Exploring input parameters in an expressive vocabulary treatment with late talkers. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 63(1), 216-233. https://doi.org/10.1044/2019_JSLHR-19-00219
- Alt, M., Meyers, C., Oglivie, T., Nicholas, K., & Arizmendi, G. (2014). Cross-situational statistically based word learning intervention for late-talking toddlers. *Journal of Communication Disorders*, 52, 207-220. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2014.07.002>
- Anron, I. (2020). Do current statistical learning tasks capture stable individual differences in children? An investigation of task reliability across modality. *Behavior Research Methods*, 52(1), 68-81. <https://doi.org/10.3758/s13428-019-01205-5>
- Bishop, D. V. M., Snowling, M. J., Thompson, P. A., Greenhalgh, T., & the CATALISE-2 consortium. (2017). Phase 2 of CATALISE: A multinational and multidisciplinary Delphi consensus study of problems with language development: Terminology. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 58(10), 1068-1080. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12721>
- Bogaerts, L., Siegelman, N., Christiansen, M. H., & Frost, R. (2022). Is there such a thing as a 'good statistical learner'? *Trends in Cognitive Sciences*, 26 (1), 25-37. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2021.10.012>
- Christiansen, M. H. (2019). Implicit statistical learning: A tale of two literatures. *Topics in Cognitive Science*, 11(3), 468-481. <https://doi.org/10.1111/tops.12332>
- Collisson, B. A., Graham, S. A., Preston, J. L., Rose, M. S., McDonald, S., & Tough, S. (2016). Risk and protective factors for late talking: An epidemiologic investigation. *The Journal of Pediatrics*, 172, 168-174. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2016.02.020>
- Cristia, A., Seidl, A., Junge, C., Soderstrom, M., & Hagoort, P. (2014). Predicting individual variation in language from infant speech perception measures. *Child Development*, 85 (4), 1330-1345. <https://doi.org/10.1111/cdev.12193>
- Cruz-Pavía, I., de la, Marino, C., & Gervain, J. (2021). Learning word order: Early beginnings. *Trends in Cognitive Sciences*, 25(9), 802-812. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2021.04.011>
- Deocampo, J. A., Smith, G. N. L., Kronenberger, W. G., Pisoni, D. B., & Conway, C. M. (2018). The role of statistical learning in understanding and treating spoken language outcomes in deaf children with cochlear implants. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 49(3S), 723-739. https://doi.org/10.1044/2018_LSHSS-STLT1-17-0138
- Desmarais, C., Sylvestre, A., Meyer, F., Bairati, I., & Rouleau, N. (2008). Systematic review of the literature on characteristics of late-talking toddlers. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 43(4), 361-389. <https://doi.org/10.1080/13682820701546854>
- Eimas, P. D. (1975). Auditory and phonetic coding of the cues for speech: Discrimination of the [r-l] distinction by young infants. *Perception & Psychophysics*, 18 (5), 341-347. <https://doi.org/10.3758/BF03211210>
- Ellis, E. M., Gonzalez, M. R., & Deák, G. O. (2014). Visual prediction in infancy: What is the association with later vocabulary? *Language Learning and Development*, 10(1), 36-50. <https://doi.org/10.1080/15475441.2013.799988>
- Erickson, L. C., & Thiessen, E. D. (2015). Statistical learning of language: Theory, validity, and predictions of a statistical learning account of language acquisition. *Developmental Review*, 37, 66-108. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2015.05.002>
- Fey, M. E., Long, S. H., & Finestack, L. H. (2003). Ten principles of grammar facilitation for children with specific language impairments. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 12(1), 3-15. [https://doi.org/10.1044/1058-0360\(2003\)048](https://doi.org/10.1044/1058-0360(2003)048)

- Finestack, L. H., Ancel, E., Lee, H., Kuchler, K., & Kornelis, M. (2024). Five additional evidence-based principles to facilitate grammar development for children with developmental language disorder. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 33(2), 552-563. https://doi.org/10.1044/2023_AJSLP-23-00049
- Fisher, E. L. (2017). A systematic review and meta-analysis of predictors of expressive-language outcomes among late talkers. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 60(10), 2935-2948. https://doi.org/10.1044/2017_JSLHR-L-16-0310
- Forest, T. A., Schlichting, M. L., Duncan, K. D., & Finn, A. S. (2023). Changes in statistical learning across development. *Nature Reviews Psychology*, 2(4), 205-219. <https://doi.org/10.1038/s44159-023-00157-0>
- Friederici, A. D., Mueller, J. L., & Oberecker, R. (2011). Precursors to natural grammar learning: Preliminary evidence from 4-month-old infants. *PLoS ONE*, 6(3), e17920. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017920>
- Frost, R., Armstrong, B. C., & Christiansen, M. H. (2019). Statistical learning research: A critical review and possible new directions. *Psychological Bulletin*, 145(12), 1128-1153. <https://doi.org/10.1037/bul0000210>
- Gabriel, A., & Urbain, C. (2012). Implication des mécanismes d'apprentissage de régularités dans l'acquisition du langage chez l'enfant sain et dysphasique. Dans C. Maillart et M.-A. Schelstraete (dir.), *Les dysphasies. De l'évaluation à la rééducation* (p. 35-56). Elsevier Masson.
- Gervain, J., & Mehler, J. (2010). Speech perception and language acquisition in the first year of life. *Annual Review of Psychology*, 61(1), 191-218. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.093008.100408>
- Gómez, R. L. (2002). Variability and detection of invariant structure. *Psychological Science*, 13(5), 431-436. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00476>
- Gómez, R. L., & Gerken, L. (1999). Artificial grammar learning by 1-year-olds leads to specific and abstract knowledge. *Cognition*, 70(2), 109-135. [https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(99\)00003-7](https://doi.org/10.1016/S0010-0277(99)00003-7)
- Gómez, R. L., & Lakusta, L. (2004). A first step in form-based category abstraction by 12-month-old infants. *Developmental Science*, 7(5), 567-580. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2004.00381.x>
- Gonzalez-Gomez, N., Poltrock, S., & Nazzi, T. (2013). A "bat" is easier to learn than a "tab": Effects of relative phonotactic frequency on infant word learning. *PLoS ONE*, 8(3), e59601. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059601>
- Graf Estes, K., Evans, J. L., Alibali, M. W., & Saffran, J. R. (2007). Can infants map meaning to newly segmented words? Statistical segmentation and word learning. *Psychological Science*, 18(3), 254-260. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01885.x>
- Hall, J., Owen Van Horne, A. J., McGregor, K. K., & Farmer, T. A. (2018). Individual and developmental differences in distributional learning. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 49(3S), 694-709. https://doi.org/10.1044/2018_LSHSS-STLT1-17-0134
- Hoën, M., Golembiowski, M., Guyot, E., Deprez, V., Caplan, D., & Dominey, P. F. (2003). Training with cognitive sequences improves syntactic comprehension in agrammatic aphasics. *NeuroReport*, 14(3), 495-499. <https://doi.org/10.1097/00001756-200303030-00040>
- Hsu, H. J., & Bishop, D. V. M. (2010). Grammatical difficulties in children with specific language impairment: Is learning deficient? *Human Development*, 53(5), 264-277. <https://doi.org/10.1159/000321289>
- Hsu, H. J., & Bishop, D. V. M. (2014). Sequence-specific procedural learning deficits in children with specific language impairment. *Developmental Science*, 17(3), 352-365. <https://doi.org/10.1111/desc.12125>
- Isbilen, E. S., & Christiansen, M. H. (2022). Statistical learning of language: A meta-analysis into 25 years of research. *Cognitive Science*, 46(9), e13198. <https://doi.org/10.1111/cogs.13198>
- JBI. (s. d.). *Critical appraisal tools*. <https://jbi.global/critical-appraisal-tools>
- Johnson, E. K., & Jusczyk, P. W. (2001). Word segmentation by 8-month-olds: When Speech cues count more than statistics. *Journal of Memory and Language*, 44(4), 548-567. <https://doi.org/10.1006/jmla.2000.2755>
- Kuhl, P. K., Williams, K. A., Lacerda, F., Stevens, K. N., & Lindblom, B. (1992). Linguistic experience alters phonetic perception in infants by 6 months of age. *Science*, 255(5044), 606-608. <https://doi.org/10.1126/science.1736364>
- Lammertink, I., Boersma, P., Wijnen, F., & Rispens, J. (2020). Children with developmental language disorder have an auditory verbal statistical learning deficit: Evidence from an online measure. *Language Learning*, 70(1), 137-178. <https://doi.org/10.1111/lang.12373>
- Lany, J., & Gómez, R. L. (2008). Twelve-month-old infants benefit from prior experience in statistical learning. *Psychological Science*, 19(12), 1247-1252. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2008.02233.x>
- Lany, J., & Saffran, J. R. (2010). From statistics to meaning: Infants' acquisition of lexical categories. *Psychological Science*, 21(2), 284-291. <https://doi.org/10.1177/0956797609358570>
- Lany, J., Shoaib, A., Thompson, A., & Graf Estes, K. (2018). Infant statistical-learning ability is related to real-time language processing. *Journal of Child Language*, 45(2), 368-391. <https://doi.org/10.1017/S0305000917000253>
- Legendre, G., Barrière, I., Goyet, L., & Nazzi, T. (2010). Comprehension of infrequent subject-verb agreement forms: Evidence from french-learning children. *Child Development*, 81(6), 1859-1875. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01515.x>
- Leroy, S., Parisse, C., & Maillart, C. (2009). Les difficultés morphosyntaxiques des enfants présentant des troubles spécifiques du langage oral : une approche constructiviste. *Rééducation Orthophonique*, 238, 21-45. <https://hdl.handle.net/2268/24744>
- MacRoy-Higgins, M., Schwartz, R. G., Shafer, V. L., & Marton, K. (2013). Influence of phonotactic probability/ neighbourhood density on lexical learning in late talkers. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 48(2), 188-199. <https://doi.org/10.1111/j.1460-6984.2012.00198.x>
- Morgan, J. L., & Saffran, J. R. (1995). Emerging integration of sequential and suprasegmental information in preverbal speech segmentation. *Child Development*, 66(4), 911-936. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.1995.tb00913.x>
- Moyle, J., Stokes, S. F., & Klee, T. (2011). Early language delay and specific language impairment. *Developmental Disabilities Research Reviews*, 17(2), 160-169. <https://doi.org/10.1002/ddrr.1110>

- Nazzi, T., Barrière, I., Goyet, L., Kresh, S., & Legendre, G. (2011). Tracking irregular morphophonological dependencies in natural language: Evidence from the acquisition of subject-verb agreement in French. *Cognition*, 120(1), 119-135. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2011.03.004>
- Nazzi, T., Bertoncini, J., & Bijeljac-Babic, R. (2009). A perceptual equivalent of the labial-coronal effect in the first year of life. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 126(3), 1440-1446. <https://doi.org/10.1121/1.3158931>
- Onnis, L., Lou-Magnuson, M., Yun, H., & Thiessen, E. (2015). Is statistical learning trainable? Dans D. C. Noelle, R. Dale, A. S. Warlaumont, J. Yoshimi, T. Matlock, C. D. Jennings et P. P. Maglio (dir.), *Proceedings of the 37th annual meeting of the Cognitive Science Society* (p. 1781-1786). Cognitive Science Society. <https://escholarship.org/uc/item/93z978wt>
- Owen Van Horne, A. J., Curran, M., Larson, C., & Fey, M. E. (2018). Effects of a complexity-based approach on generalization of past tense -ed and related morphemes. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 49(3S), 681-693. https://doi.org/10.1044/2018_LSHSS-STLT1-17-0142
- Perruchet, P., & Pacton, S. (2006). Implicit learning and statistical learning: One phenomenon, two approaches. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(5), 233-238. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.03.006>
- Plante, E., & Gómez, R. L. (2018). Learning without trying: The clinical relevance of statistical learning. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 49(3S), 710-722. https://doi.org/10.1044/2018_LSHSS-STLT1-17-0131
- Plante, E., Ogilvie, T., Vance, R., Aguilar, J. M., Dailey, N. S., Meyers, C., Lieser, A. M., & Burton, R. (2014). Variability in the language input to children enhances learning in a treatment context. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 23(4), 530-545. https://doi.org/10.1044/2014_AJSLP-13-0038
- Reber, A. S. (1967). Implicit learning of artificial grammars. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 6(6), 855-863. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(67\)80149-X](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(67)80149-X)
- Rescorla, L. (2011). Late talkers: Do good predictors of outcome exist? *Developmental Disabilities Research Reviews*, 17(2), 141-150. <https://doi.org/10.1002/ddrr.1108>
- Romberg, A. R., & Saffran, J. R. (2010). Statistical learning and language acquisition. *WIREs Cognitive Science*, 1(6), 906-914. <https://doi.org/10.1002/wcs.78>
- Saffran, J. R., Aslin, R. N., & Newport, E. L. (1996). Statistical learning by 8-month-old infants. *Science*, 274(5294), 1926-1928. <https://doi.org/10.1126/science.274.5294.1926>
- Saffran, J. R., & Kirkham, N. Z. (2018). Infant statistical learning. *Annual Review of Psychology*, 69(1), 181-203. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-122216-011805>
- Saracci, C., Mahamat, M., & Jacquerioz, F. (2019). Comment rédiger un article scientifique de type revue narrative de la littérature? *Revue Médicale Suisse*, 15(664), 1694-1698. <https://www.revmed.ch/revue-medicale-suisse/2019/revue-medicale-suisse-664/comment-rediger-un-article-scientifique-de-type-revue-narrative-de-la-litterature>
- Shufaniya, A., & Arnon, I. (2018). Statistical learning is not age-invariant during childhood: Performance improves with age across modality. *Cognitive Science*, 42(8), 3100-3115. <https://doi.org/10.1111/cogs.12692>
- Siegelman, N., Bogaerts, L., Christiansen, M. H., & Frost, R. (2017). Towards a theory of individual differences in statistical learning. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 372(1711), 20160059. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0059>
- Siegelman, N., Bogaerts, L., & Frost, R. (2017). Measuring individual differences in statistical learning: Current pitfalls and possible solutions. *Behavior Research Methods*, 49(2), 418-432. <https://doi.org/10.3758/s13428-016-0719-z>
- Smith, G. (2017). *The association between structured sequence processing and grammatical language processing: The neurocognitive mechanisms and the potential to enhance them*. [Thèse de doctorat, Georgia State University]. Psychology Dissertations. <https://doi.org/10.57709/11104349>
- Smith, G. N. L., Conway, C. M., Bauernschmidt, A., & Pisoni, D. B. (2015). Can we improve structured sequence processing? Exploring the direct and indirect effects of computerized training using a mediational model. *PLOS ONE*, 10(5), e0127148. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127148>
- Stokes, S. F. (2010). Neighborhood density and word frequency predict vocabulary size in toddlers. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 53(3), 670-683. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2009\)08-0254](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2009)08-0254)
- Stokes, S. F., Kern, S., & Santos, C. D. (2012). Extended statistical learning as an account for slow vocabulary growth. *Journal of Child Language*, 39(1), 105-129. <https://doi.org/10.1017/S0305000911000031>
- Storkel, H. L. (2009). Developmental differences in the effects of phonological, lexical and semantic variables on word learning by infants. *Journal of Child Language*, 36(2), 291-321. <https://doi.org/10.1017/S030500090800891X>
- Sylvestre, A., Desmarais, C., Meyer, F., Bairati, I., & Leblond, J. (2018). Prediction of the outcome of children who had a language delay at age 2 when they are aged 4: Still a challenge. *International Journal of Speech-Language Pathology*, 20(7), 731-744. <https://doi.org/10.1080/17549507.2017.1355411>
- Thiessen, E. D. (2017). What's statistical about learning? Insights from modelling statistical learning as a set of memory processes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 372(1711), 20160056. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0056>
- Thiessen, E. D., & Saffran, J. R. (2003). When cues collide: Use of stress and statistical cues to word boundaries by 7- to 9-month-old infants. *Developmental Psychology*, 39(4), 706-716. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.39.4.706>
- Uddén, J., Ingvar, M., Hagoort, P., & Petersson, K. M. (2017). Broca's region: A causal role in implicit processing of grammars with crossed non-adjacent dependencies. *Cognition*, 164, 188-198. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2017.03.010>
- Ullman, M. T., Earle, F. S., Walenski, M., & Janacek, K. (2020). The neurocognition of developmental disorders of language. *Annual Review of Psychology*, 71(1), 389-417. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-122216-011555>
- Ullman, M. T., & Pierpont, E. I. (2005). Specific language impairment is not specific to language: The procedural deficit hypothesis. *Cortex*, 41(3), 399-433. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70276-4](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70276-4)
- Unger, L., Vales, C., & Fisher, A. V. (2020). The role of co-occurrence statistics in developing semantic knowledge. *Cognitive Science*, 44(9), e12894. <https://doi.org/10.1111/cogs.12894>

- Werker, J. F., & Tees, R. C. (1984). Cross-language speech perception: Evidence for perceptual reorganization during the first year of life. *Infant Behavior and Development*, 7(1), 49-63. [https://doi.org/10.1016/S0163-6383\(84\)80022-3](https://doi.org/10.1016/S0163-6383(84)80022-3)
- West, G., Melby-Lervåg, M., & Hulme, C. (2021). Is a procedural learning deficit a causal risk factor for developmental language disorder or dyslexia? A meta-analytic review. *Developmental Psychology*, 57(5), 749-770. <https://doi.org/10.1037/dev0001172>
- Yim, D., & Yang, Y. (2021). Can we enhance statistical learning? Exploring statistical learning improvement in children with vocabulary delay. *Communication Sciences & Disorders*, 26(3), 558-567. <https://doi.org/10.12963/csd.21804>
- Zhang, Z., Xu, Q., & Joshi, R. M. (2021). A meta-analysis on the effectiveness of intervention in children with primary speech and language delays/disorders: Focusing on China and the United States. *Clinical Psychology & Psychotherapy*, 28(3), 585-605. <https://doi.org/10.1002/cpp.2522>

Cet article apporte une synthèse des travaux récents sur l'AS et son lien avec l'acquisition du langage oral, tout en mettant en évidence les enjeux théoriques et méthodologiques qui structurent les recherches actuelles dans ce domaine.

1.5. Synthèse et conclusion

Les premières sections de ce chapitre ont d'abord proposé une vue d'ensemble du développement du langage oral chez l'enfant, avant de se concentrer plus spécifiquement sur l'acquisition de la morphosyntaxe, en mettant en évidence le rôle structurant des relations grammaticales et des dépendances non adjacentes (DNA) dans l'émergence des représentations linguistiques. Cette mise en perspective développementale a permis d'identifier les principales trajectoires décrites dans la littérature, ainsi que les questions théoriques et empiriques qu'elles soulèvent.

Dans ce cadre, le chapitre a ensuite présenté les principaux cadres théoriques mobilisés pour rendre compte de l'acquisition du langage, en s'intéressant en particulier à la place de l'apprentissage statistique (AS) dans les approches linguistiques. L'examen de ces approches — générativistes, constructivistes et connexionnistes — a montré que l'AS est mobilisé avec des statuts différents, mais qu'il constitue un élément transversal contribuant à nuancer l'opposition entre inné et acquis.

Ce chapitre comprend également une section consacrée aux méthodes mobilisées pour étudier l'AS et l'acquisition du langage au cours du développement. Cette section présente les principaux paradigmes utilisés chez le jeune enfant, ainsi que les types d'inférences et les limites méthodologiques qui leur sont associés.

L'AS offre un cadre heuristique prometteur pour expliquer comment l'enfant construit progressivement ses représentations linguistiques en utilisant, entre autres, les régularités de l'environnement linguistique auquel il est exposé, bien que ses mécanismes exacts ne soient encore que partiellement élucidés. L'article de revue intégré dans cette introduction clarifie les différents types de régularités statistiques — dont leur topologie adjacente et non adjacente —, les hypothèses sur leurs liens respectifs avec le développement lexical et morphosyntaxique, et leur rôle potentiel dans les troubles développementaux du langage.

Cette revue met également en évidence plusieurs questionnements théoriques et défis méthodologiques majeurs, portant notamment sur la nature et la mesure de l'AS. Elle souligne l'importance de définir précisément la composante étudiée (modalité, type de dépendance, nature du matériel, type de mesure), d'étayer le choix des paradigmes comme indices d'une

capacité donnée, de limiter les interférences entre modalités (Siegelman et al., 2017), de privilégier des mesures en ligne réduisant les exigences métalinguistiques (Isbilen & Christiansen, 2022), et d'adapter la complexité des tâches à l'âge des participants afin d'en maximiser la fiabilité (Arnon, 2020).

Par ailleurs, les études menées auprès de populations présentant un trouble développemental du langage suggèrent l'intérêt de cibler certains mécanismes d'AS en particulier dans une perspective clinique à terme, notamment la détection de statistiques conditionnelles, l'utilisation de tâches de grammaire artificielle permettant un contrôle fin des régularités présentées (West et al., 2021), ainsi que l'exploration de la sensibilité aux DNA, étroitement liée au développement morphosyntaxique (Lammertink et al., 2020) — qui constituera un axe central du chapitre 4, consacré à la compréhension et à la production de l'accord en nombre et des flexions verbales de temps composés.

L'ensemble de ces éléments théoriques et méthodologiques constitue le cadre théorique général dans lequel s'inscrivent les travaux empiriques présentés dans les chapitres suivants. Le chapitre suivant est consacré à la présentation des objectifs et du cadre opérationnel.

2. Objectifs, design de l'étude et cadre méthodologique général

Cette thèse explore l'apprentissage de régularités statistiques linguistiques chez de jeunes enfants francophones et ses relations avec le développement langagier, au travers d'une étude longitudinale prospective. Ce chapitre présente les objectifs, la structure du protocole longitudinal et les choix méthodologiques généraux, définissant ainsi le cadre opérationnel des analyses.

2.1. Objectifs généraux

Cette étude longitudinale a pour objectif principal de suivre la trajectoire développementale des capacités d'apprentissage de régularités statistiques linguistiques chez un échantillon de jeunes enfants francophones sur une période d'environ deux ans, en combinant des analyses transversales et longitudinales. Elle vise à examiner de manière coordonnée la sensibilité aux régularités statistiques de type dépendances adjacentes (DA) et dépendances non adjacentes (DNA), ainsi que les relations entre ces capacités et le développement langagier, tant à un âge donné qu'entre les différents âges.

Un second objectif est d'évaluer spécifiquement l'acquisition de structures morphosyntaxiques impliquant des régularités non adjacentes, afin d'examiner les relations entre l'AS et le développement morphosyntaxique à partir de structures proches au sein de l'étude. Plus largement, cela permet de documenter précisément les performances en compréhension et en production des enfants francophones de 40 mois pour ces structures grammaticales spécifiques et de contribuer ainsi à l'enrichissement des connaissances sur le développement morphosyntaxique.

À cette fin, le protocole expérimental permet de recueillir, à différents âges, des données concernant le traitement de régularités statistiques linguistiques, dont des structures morphosyntaxiques, au moyen de tâches expérimentales variées. Ces tâches manipulent plusieurs dimensions expérimentales centrales :

- le type de régularité (de complexité croissante : DA versus DNA) ;
- la nature du stimulus (langage artificiel versus langue maternelle) ;
- la nature de la tâche (de complexité croissante : sensibilité versus compréhension versus production) ;
- la méthode de mesure associée.

En parallèle, des mesures du développement langagier sont recueillies afin d'examiner les relations entre les performances aux tâches d'apprentissage statistique (AS) et les compétences langagières des enfants.

Sur le plan transversal, les objectifs consistent à documenter les performances des jeunes enfants francophones aux tâches d'AS selon ces différentes dimensions, à examiner les performances selon le type de régularité et la nature du stimulus, et à explorer les relations entre ces performances à un même âge, ainsi que leurs associations avec les mesures de développement langagier.

Sur le plan longitudinal, il s'agit d'examiner l'évolution des capacités d'AS entre 18 et 27 mois, ainsi que les relations entre les performances d'AS et les compétences langagières évaluées à des âges ultérieurs, afin de préciser le rôle potentiel de l'AS dans le développement morphosyntaxique.

2.2. Objectifs spécifiques et structure du protocole longitudinal

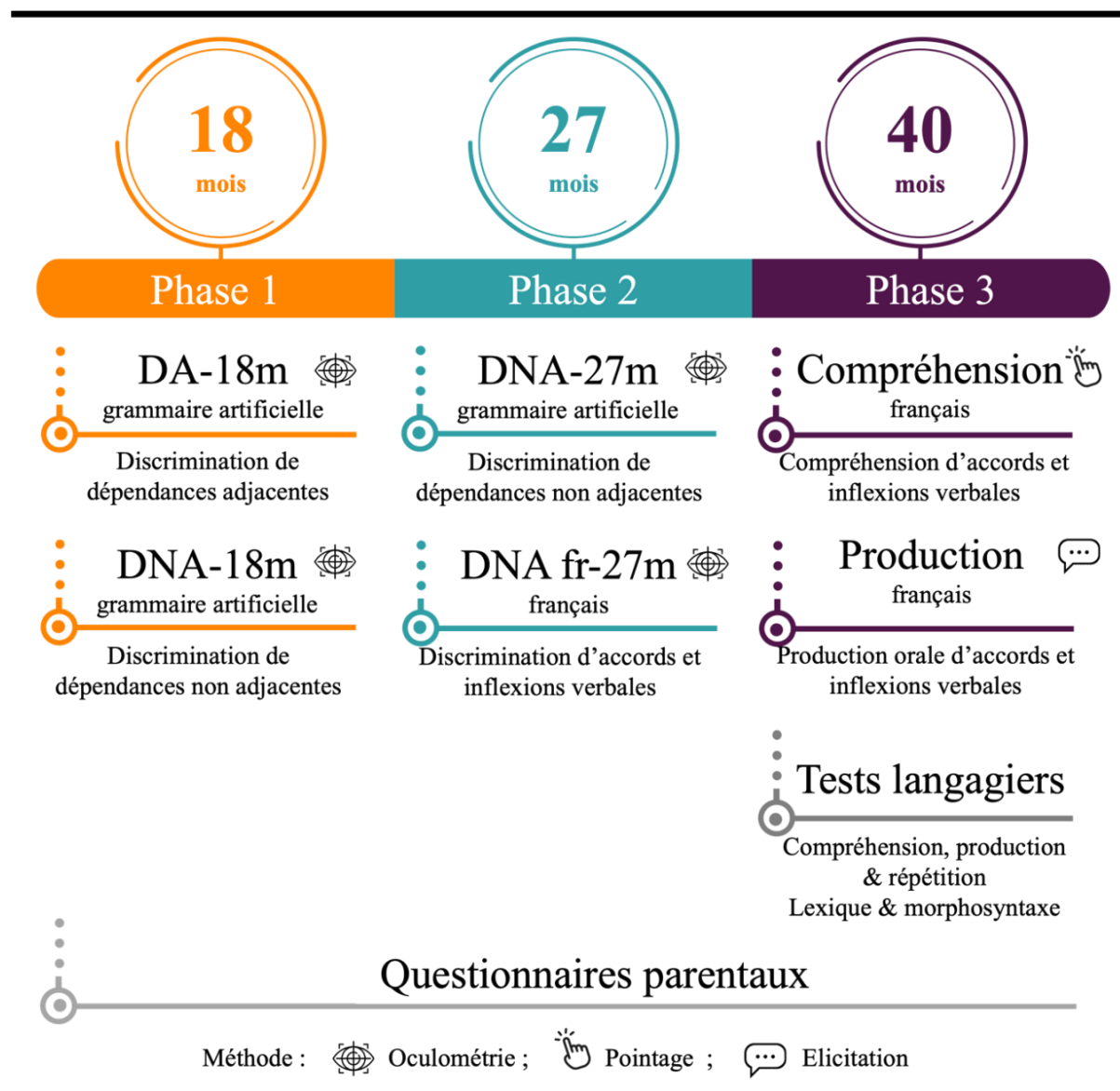
Cette section présente les objectifs spécifiques poursuivis à chaque phase du protocole longitudinal et la manière dont ils ont été opérationnalisés dans la structure générale de l'étude. L'organisation par phase vise à rendre explicite l'articulation entre les objectifs analytiques, les types de tâches proposés et la temporalité du recueil des données, tout en facilitant la lecture de la logique expérimentale d'ensemble.

L'étude repose sur un protocole longitudinal structuré en trois phases, conduites aux âges de 18, 27 et 40 mois.² Chaque phase permet d'opérationnaliser un sous-ensemble d'objectifs spécifiques, à travers des tâches adaptées à l'âge des participants et aux dimensions analysées. La Figure 1 propose une vue d'ensemble de la structure du protocole, des âges de passation et des types de tâches utilisés à chaque phase.

² Le calendrier initial du protocole a fait l'objet de plusieurs ajustements en cours d'étude. La Phase 1, prévue à 18 mois, a bien été réalisée à cet âge, mais avec un report du lancement lié à des contraintes techniques. La Phase 2, prévue à 24 mois, a été réalisée à 27 mois en raison des restrictions sanitaires liées à la pandémie de Covid-19. Les Phases 3 et 4, initialement prévues respectivement à 36 et 42 mois, ont été fusionnées en une phase unique réalisée à 40 mois, afin de resserrer le calendrier de passation et de tenir compte des contraintes organisationnelles.

Figure 1

Structure générale du protocole longitudinal et articulation des phases et des tâches



Note. DA = dépendances adjacentes ; DNA = dépendances non adjacentes.

2.2.1. Phase 1 — 18 mois : sensibilité précoce aux régularités statistiques

La première phase de l'étude vise à examiner la sensibilité précoce des enfants aux régularités statistiques linguistiques, en distinguant les dépendances adjacentes (DA) et les dépendances non adjacentes (DNA).

Les DA et les DNA ont en commun d'être des statistiques conditionnelles, mais elles diffèrent par leur complexité computationnelle et les exigences qu'elles imposent au système d'apprentissage. Les DA reposent sur des cooccurrences locales et sont généralement considérées comme accessibles très précocement, notamment dans le cadre de la segmentation

de la parole fondée sur les probabilités transitionnelles (Aslin et al., 1998 ; Saffran, Aslin et al., 1996). À l'inverse, les DNA impliquent le traitement de relations distantes entre éléments séparés par un matériel variable, requérant des capacités accrues de mémoire et d'abstraction (Erickson & Thiessen, 2015 ; Gómez, 2002), et ont été proposées comme particulièrement pertinentes pour l'acquisition morphosyntaxique.

L'objectif principal est d'évaluer la capacité des enfants âgés de 18 mois à extraire ces deux types de régularités, afin de documenter l'émergence des mécanismes d'AS. En complément, l'analyse des performances selon le type de dépendance vise à apporter des éléments quant à une éventuelle différenciation des mécanismes sous-jacents. Par ailleurs, cette phase vise à examiner les relations entre la sensibilité aux régularités linguistiques et les différentes composantes du développement langagier, au même âge.

L'objectif principal est opérationnalisé au moyen de deux tâches de sensibilité, l'une portant sur les DA et l'autre sur les DNA, administrées lors d'une même session expérimentale. Les performances des enfants sont évaluées à partir de mesures comportementales directes de la sensibilité aux régularités linguistiques. En parallèle, des données relatives au développement langagier sont recueillies par questionnaire parental, permettant d'examiner les relations transversales entre les performances aux tâches d'AS et les compétences langagières à 18 mois.

Au regard de la littérature, les enfants devraient manifester une sensibilité aux régularités statistiques linguistiques à 18 mois. En langage artificiel, une sensibilité est attendue à la fois pour les régularités adjacentes (DA-18m) et non adjacentes (DNA-18m). Dans la mesure où la littérature rapporte majoritairement des effets de nouveauté observés dès 8 mois pour les DA (par ex., Saffran, Aslin et al., 1996) et dès 18 mois pour les DNA (par ex., Gómez, 2002), et compte tenu de l'âge légèrement plus avancé de nos participants, ceux-ci devraient manifester une préférence pour la nouveauté. Cette préférence peut être interprétée comme le reflet d'un apprentissage relativement aisé des régularités proposées. Toutefois, des variations dans la direction ou la robustesse des effets selon le type de régularité pourraient fournir des éléments en faveur de contraintes distinctes dans leur traitement.

Dans le cadre théorique selon lequel l'AS contribue au développement du langage, les performances aux tâches de sensibilité aux régularités à 18 mois pourraient être associées aux indices du développement langagier mesurés au même âge (Erickson & Thiessen, 2015). Plus précisément, les performances à la tâche impliquant des DA pourraient être associées au développement lexical, tandis que celles impliquant des DNA pourraient être associées aux indices précoces du développement morphosyntaxique. Dans cette perspective, ces associations

se traduiraient par des corrélations d'ampleur modérée à forte, dont la direction dépendra du type de préférence manifesté par les enfants.

Cette phase constitue également un point d'ancrage pour les analyses longitudinales ultérieures, en fournissant une première mesure des capacités d'AS.

2.2.2. Phase 2 — 27 mois : effet de la nature du stimulus et évolution développementale

La deuxième phase de l'étude vise à approfondir l'étude de la sensibilité aux DNA à un âge plus avancé, en examinant l'influence de la nature du stimulus sur les performances d'AS. L'un des objectifs principaux est d'observer la sensibilité des enfants aux DNA lorsque celles-ci sont présentées dans un contexte de langage artificiel ou dans la langue maternelle, afin d'explorer les relations entre les deux natures de stimuli. Un autre objectif est de poursuivre l'examen des relations transversales entre la sensibilité aux DNA et le développement morphosyntaxique.

La comparaison entre langage artificiel et langue maternelle soulève des enjeux méthodologiques et théoriques importants. En langage artificiel, les régularités sont concentrées dans un input contrôlé, caractérisé par une exposition brève, une fréquence des structures cibles et une variabilité contextuelle limitée, sans appui sémantique. À l'inverse, en langue maternelle, les régularités sont plus distribuées dans l'input, imbriquées dans un système riche en indices concurrents et associées à un contenu sémantique.

Ces différences nourrissent les questions de validité écologique et de scalabilité des paradigmes d'AS : si les mécanismes mis en évidence en contexte artificiel sont susceptibles de s'appliquer à la langue naturelle, leur expression comportementale peut être modulée et plus difficile à capter (Erickson & Thiessen, 2015). Par ailleurs, en langue maternelle, les enfants disposent déjà de connaissances lexicales et morphosyntaxiques susceptibles d'interagir avec le traitement des stimuli expérimentaux. La littérature montre ainsi que la sensibilité à certaines DNA morphosyntaxiques est présente dès la deuxième année de vie (Culbertson et al., 2016 ; Santelmann & Jusczyk, 1998 ; van Heugten & Shi, 2010), mais qu'elle est modulée par des facteurs tels que la familiarité lexicale (Nazzi et al., 2011).

Sur le plan longitudinal, cette phase permet également d'étudier l'évolution des performances entre 18 et 27 mois, en particulier en ce qui concerne les patterns de réponse observés, et de documenter l'émergence ou la consolidation progressive de la sensibilité aux DNA.

Ces objectifs sont mis en œuvre à travers deux tâches de sensibilité portant sur des DNA, qui diffèrent par la nature des stimuli linguistiques. Des données langagières sont recueillies

par questionnaire parental, afin d'examiner les relations transversales entre l'AS et le développement langagier à 27 mois, ainsi que leur évolution par rapport à 18 mois.

Dans la continuité de la phase 1, les enfants devraient continuer de manifester une sensibilité aux DNA à 27 mois. Pour la tâche en langage artificiel (DNA-27m), les enfants devraient manifester une préférence pour la nouveauté, possiblement plus robuste qu'à 18 mois, si les capacités d'AS se consolident avec l'âge. Toutefois, la procédure utilisée — la mesure du temps d'attention visuelle comme proxy de l'attention auditive — étant rarement utilisée dans les études au-delà de 18 mois (Werker et al., 1997), nous ne disposons pas d'étude de référence dans la littérature. Concernant la tâche de sensibilité aux DNA en langue maternelle à 27 mois (DNAfr-27m), la direction des effets comportementaux demeure incertaine, compte tenu de la variabilité des résultats rapportés dans la littérature (Culbertson et al., 2016 : effet de nouveauté à 24 mois ; Nazzi et al., 2011 : effet de familiarité à 24 mois). De plus, comme la sensibilité aux DNA est suggérée comme soutenant l'acquisition morphosyntaxique, une convergence des performances entre langage artificiel et langue maternelle devrait également se manifester. La comparaison entre ces deux contextes permettra ainsi d'évaluer dans quelle mesure la sensibilité observée en contexte artificiel se retrouve dans le contexte de la langue maternelle.

Dans le prolongement de la phase précédente également, nous anticipons que les performances aux tâches impliquant des DNA en langage artificiel et en français pourraient être associées aux indices précoces du développement morphosyntaxique évalués en production à l'aide du questionnaire parental, à 27 mois ainsi qu'entre les différentes phases (Erickson & Thiessen, 2015). Si ces associations se confirment, elles devraient se traduire par des corrélations d'ampleur modérée à forte, dont la direction dépendra du type de préférence manifesté par les enfants.

2.2.3. Phase 3 — 40 mois : compétences morphosyntaxiques et relations longitudinales

La troisième phase de l'étude vise à évaluer les compétences morphosyntaxiques des enfants à 40 mois et à examiner leurs relations avec les performances précoces d'AS. Un premier objectif est d'évaluer la compréhension et la production de structures morphosyntaxiques impliquant des DNA — l'accord verbal en nombre aux troisièmes personnes du singulier et du pluriel au présent de l'indicatif, ainsi que la flexion des temps composés du passé composé et du futur périphrastique —, au moyen de tâches expérimentales distinctes ciblant ces deux modalités. Ces deux tâches fournissent des indices spécifiques du développement morphosyntaxique, tout en contribuant à documenter plus finement l'acquisition de ces structures grammaticales chez les jeunes enfants francophones.

Un second objectif consiste à explorer les relations longitudinales entre les performances aux tâches de sensibilité aux DA et aux DNA mesurées à 18 et 27 mois et les compétences morphosyntaxiques évaluées à 40 mois, afin d'examiner la valeur prédictive des mesures précoces d'AS.

Ces objectifs sont opérationnalisés à travers deux tâches expérimentales distinguant la compréhension (tâche de pointage) et la production (tâche d'élicitation verbale) morphosyntaxiques, complétées par des mesures standardisées du langage et un questionnaire parental portant sur le développement du langage en production.

Concernant les performances aux tâches expérimentales morphosyntaxiques, la quantité de références et la robustesse des repères disponibles varient selon la nature de la tâche (compréhension versus production) et la structure grammaticale (accord en nombre, flexion temporelle). De plus, les performances attendues varient au sein d'un type de contraste (singulier versus pluriel, passé versus futur) et en fonction de la nature de la tâche. Globalement, les enfants devraient mieux réussir en compréhension qu'en production, ainsi que pour les items au singulier par rapport au pluriel (notamment en production), et au passé par rapport au futur (Bassano et al., 2020).

Concernant les relations longitudinales, nous anticipons que les capacités précoces d'AS pourraient contribuer à prédire le développement langagier ultérieur (Erickson & Thiessen, 2015). Les performances à la tâche impliquant des DA devraient alors être plus spécifiquement associées aux compétences lexicales à 40 mois, et les performances aux tâches impliquant des DNA devraient être plus spécifiquement associées aux compétences morphosyntaxiques à 40 mois, telles qu'évaluées à l'aide du questionnaire parental et d'épreuves langagières standardisées. Les enfants présentant une sensibilité marquée aux régularités statistiques devraient manifester de meilleures performances langagières. Une préférence pour la nouveauté est généralement interprétée comme un indice de compétences plus avancées, ce qui se traduirait, dans le cadre de notre codage, par des corrélations négatives d'ampleur modérée à forte.

Cette phase finalise le suivi longitudinal de l'étude et permet d'apprécier le rôle potentiel de l'AS dans le développement morphosyntaxique à moyen terme.

Ces objectifs, articulant dimensions transversales et longitudinales, ont directement orienté la conception du protocole et les choix méthodologiques présentés dans la section suivante.

2.3. Cadre méthodologique

Cette section présente les considérations générales relatives à l'étude dans son ensemble, concernant les participants et le matériel. La méthode détaillée pour chaque phase et chaque tâche sera développée dans les chapitres correspondants.

Le protocole a été approuvé par la Commission cantonale (Vaud) d'éthique de la recherche sur l'être humain (CER-VD) le 13 juin 2018 (N° de projet : 2018-00765).

2.3.1. Choix méthodologiques

Les choix méthodologiques opérés dans cette thèse ont été guidés par un double objectif : étudier la sensibilité précoce aux régularités linguistiques dans des conditions compatibles avec les contraintes développementales du jeune enfant, et maximiser la pertinence inférentielle des mesures retenues pour l'étude des relations entre AS et développement langagier. Ces choix, bien qu'effectués dès 2017, s'inscrivent dans les recommandations méthodologiques formulées dans la littérature récente en psycholinguistique développementale, qui souligne la nécessité de distinguer apprentissage et performance, de définir précisément la composante mesurée et de recourir à des approches intégratives combinant plusieurs types d'indicateurs (Isbilen & Christiansen, 2022 ; Kail, 2020 ; Siegelman et al., 2017).

Choix d'un design longitudinal. Un design longitudinal a été privilégié afin de suivre l'évolution des compétences linguistiques et de la sensibilité aux régularités statistiques au cours d'une période développementale marquée par des changements vraisemblablement rapides et non linéaires (Culbertson et al., 2016). Ce choix permet d'examiner la continuité développementale.

Recours à des tâches de sensibilité mesurées par oculométrie. L'utilisation de tâches de sensibilité fondées sur le regard, mesurées par oculométrie, vise à étudier des compétences émergentes sans exiger de réponse volontaire consciente, particulièrement difficile à obtenir chez le jeune enfant. Ce choix est cohérent avec les recommandations en faveur de mesures directes permettant de réduire les exigences métacognitives et décisionnelles (Siegelman et al., 2017). Néanmoins, ces mesures sont considérées ici comme des indices indirects de la sensibilité aux régularités linguistiques, et non comme des observations directes de l'apprentissage, ce qui motive une interprétation prudente des résultats obtenus. En effet, dans cette étude, les temps de regard constituent une mesure en temps réel du traitement lors de la phase test. Toutefois, au sens strict proposé par Siegelman et al. (2017), il ne s'agit pas d'une mesure en ligne de l'apprentissage, dans la mesure où la dynamique d'acquisition n'est pas suivie pendant la phase de familiarisation, mais inférée post hoc à partir de la réponse au test.

Le recours à des tâches automatisées fondées sur le regard implique la mise en œuvre de dispositifs exigeant une contingence en ligne entre les comportements visuels de l'enfant et le déroulement des essais. Ces contraintes, bien documentées dans la littérature, ont été prises en compte dès l'implémentation du protocole (Junge et al., 2020 ; Oakes, 2012). Ainsi, plusieurs choix méthodologiques ont été opérés afin de garantir la qualité et l'interprétabilité des données oculométriques. Ceux-ci incluent une calibration en cinq points avec contrôle de la qualité des données via MATLAB, l'utilisation de stimuli d'accroche du regard et le déclenchement des essais de manière contingente au regard, une vérification systématique de la cohérence entre les données de regard et le comportement visuel observé, ainsi que le développement de scripts de traitement des données sous MATLAB pour le prétraitement et les analyses.

Spécification des structures linguistiques ciblées. Les tâches de sensibilité auditives ont été conçues pour cibler des structures linguistiques définies de manière précise, notamment des DA et des DNA. Ce choix répond aux critiques adressées aux études qui traitent l'AS comme une capacité globale et unitaire, sans expliciter la nature des régularités manipulées (Siegelman et al., 2017). En distinguant différents types de dépendances, le protocole vise à mieux caractériser la spécificité des mécanismes impliqués et à limiter les interférences entre composantes distinctes de l'apprentissage.

Combinaison de mesures expérimentales, parentales et standardisées. Afin de pouvoir étudier les relations entre sensibilité aux régularités statistiques et développement langagier, et de pallier dans une certaine mesure les limites des paradigmes comportementaux pris isolément, les tâches expérimentales ont été combinées à des questionnaires parentaux et à des épreuves de langage standardisées. Cette triangulation méthodologique vise à fournir une caractérisation plus complète des compétences langagières de l'enfant, en articulant des mesures de traitement, des estimations écologiquement valides et des repères normés. Une telle approche est particulièrement pertinente dans une perspective développementale et différentielle, dans la mesure où l'expression comportementale des compétences linguistiques peut varier fortement selon les modalités de mesure et les moments du développement.

Limites assumées et portée des inférences. Enfin, les choix méthodologiques opérés dans cette thèse ne prétendent pas lever l'ensemble des contraintes identifiées dans la littérature concernant la mesure de l'AS chez le jeune enfant. En particulier, les paradigmes utilisés ne permettent pas de suivre la dynamique de l'apprentissage en ligne au sens strict, ni de garantir une estimation hautement fiable des performances individuelles. Ces limites sont toutefois considérées comme inhérentes à l'état actuel des méthodes disponibles et sont intégrées de

manière explicite dans l'interprétation des résultats, afin d'éviter toute surgénéralisation des conclusions empiriques.

2.3.2. Participants

Caractéristiques de l'échantillon. Au total, 46 enfants (23 filles, 23 garçons) monolingues francophones vivant en Suisse romande ont participé à ce projet de recherche entre les âges de 18 et 40 mois.

Pour chaque phase, les tâches expérimentales ont d'abord été pilotées auprès d'un petit nombre d'enfants (cf. Tableau 1), afin de tester le déroulement du protocole, le bon fonctionnement technique ainsi que leur adéquation aux jeunes enfants (attractivité et faisabilité). Ce pilotage a permis d'apporter quelques ajustements aux protocoles. Les données recueillies lors du pilotage n'ont pas été incluses dans les analyses de l'étude. Compte tenu du design longitudinal, des contraintes temporelles liées à un projet de thèse, des ressources limitées en participants liées au bassin de population restreint dans le canton de Neuchâtel³ et de l'inclusion d'enfants strictement monolingues⁴, nous n'avions pas la possibilité d'étendre le pilotage à un plus grand nombre d'enfants ni de réaliser une étude préliminaire des données récoltées.

Comme dans la plupart des études avec les jeunes enfants, il n'est pas toujours possible de recueillir des données pour tous les enfants participants à l'étude. Le nombre de jeux de données inclus dans les analyses est donc inférieur au nombre de participants à la phase et peut varier d'une tâche à l'autre, y compris au cours d'une même phase (cf. Tableau 1). Le détail des participants exclus est présenté pour chaque tâche dans les sections correspondantes.

Dans une étude longitudinale, un phénomène d'attrition est également observé, avec des abandons en cours d'étude (cf. Tableau 1). Quelques enfants ont rejoint l'étude en cours lors des phases 2 et 3, afin de compléter le nombre de participants pour les données transversales. Il s'agit de trois participants dont les parents ont pris contact après le début de l'étude.

³ Il convient de noter que des villes comme Paris et Montréal, par exemple, ont un bassin de recrutement environ 15 fois plus important que le canton de Neuchâtel. En 2018, année de début de ce projet de doctorat, Paris a enregistré 27'363 naissances (Chaput & Laurent, 2020) et l'agglomération de Montréal 22'940 (Girard, 2019), contre 1'656 pour le canton de Neuchâtel (Service de statistique du canton de Neuchâtel, s. d.).

⁴ Entre 2014 et 2019, 33 % des enfants de moins de 15 ans sont en contact avec deux langues à la maison et 10 % avec trois langues ou plus (Office fédéral de la statistique, 2021).

Tableau 1*Participants et données incluses selon les phases de l'étude*

Phase	Participants Pilote	Participants Étude	Données incluses Tâche A	Données incluses Tâche B	Arrêts en cours	Inclusions en cours
1	5	38	28	29		–
2	6	36	31	26	3	2
3	4	33	30	27	6	1

Note. Toutes les valeurs correspondent à des effectifs d'enfants. Les tâches A et B n'indiquent pas l'ordre de passation. Elles correspondent aux tâches suivantes selon la phase : Phase 1 : A = DA-18m ; B = DNA-18m. Phase 2 : A = DNA-27m ; B = DNAfr-27m. Phase 3 : A = compréhension morphosyntaxique ; B = production morphosyntaxique.

Le niveau d'éducation des parents a été catégorisé en six niveaux, allant de la scolarité obligatoire à l'enseignement supérieur long, selon une classification élaborée pour les besoins de l'étude et fondée sur une harmonisation des systèmes suisse et français, certains parents ayant effectué leur scolarité en France. Les effectifs correspondants sont rapportés dans le Tableau 2 (cf. Annexe A pour le détail des catégories).

Tableau 2*Répartition du niveau éducatif des parents*

Catégorie	Niveau éducatif maternel	Niveau éducatif paternel
1 – Scolarité obligatoire	0	1
2 – Secondaire professionnel court	6	12
3 – Secondaire professionnel long	1	0
4 – Secondaire général	3	1
5 – Supérieur court	1	4
6 – Supérieur long	30	22

Note. Le niveau éducatif d'un père est manquant.

Détermination de la taille de l'échantillon. Afin de déterminer un effectif cible, des calculs de puissance ont été réalisés en se basant sur les résultats d'études antérieures ayant inspiré les tâches utilisées. Dans le cadre d'un design longitudinal, ces calculs portent sur la comparaison la moins favorable, afin de garantir une puissance suffisante pour l'ensemble des âges testés.

Deux études ont été utilisées pour estimer la taille d'effet. Dans Gómez (2002), condition *set size 24*, la comparaison intra-sujet entre items grammaticaux et non grammaticaux correspond à une taille d'effet appariée estimée élevée ($d_z \approx 1.29$). En revanche, dans Nazzi et al. (2011), l'effet de grammaticalité estimé observé chez les enfants de 24 mois est plus modéré ($d_z \approx 0.65$).

Dans une optique conservatrice, le dimensionnement de l'étude a été basé sur cette seconde estimation⁵. Pour un test t apparié bilatéral ($\alpha = 0.05$), une taille d'effet de $d_z \approx 0.65$ nécessite environ 28 enfants pour atteindre une puissance de 90 %.

Compte tenu du caractère longitudinal de l'étude et des taux d'attrition très variables observés dans les études développementales, une perte de participants de 20 % à 25 % a été anticipée (Houston, 2000). En conséquence, afin d'obtenir un effectif final d'environ 28 enfants analysables, il est prévu de recruter initialement entre 35 et 40 enfants.

Les calculs de puissance ont été réalisés avec R 4.3.3 (R Core Team, 2024), à l'aide du package *pwr*, en utilisant la fonction *pwr.t.test()* pour des tests t appariés bilatéraux.

Recrutement. Les enfants ont été recrutés en majorité dans le canton de Neuchâtel, via les crèches, le bouche à oreille, les médias, les réseaux sociaux ou les pédiatres. Toutefois, cinq familles vivant dans d'autres cantons de Suisse romande ont souhaité participer à l'étude (Fribourg : 3 et Vaud : 2)⁶. Les parents intéressés étaient invités à retourner un formulaire de contact et d'autorisation préliminaire. Avant d'inclure un enfant dans l'étude, un entretien téléphonique était conduit avec l'un des parents afin de présenter le projet, répondre aux éventuelles questions et vérifier les critères d'éligibilité.

⁵ La taille d'effet appariée (d_z) a été estimée directement dans Gómez (2002) à partir des différences intra-sujets. Dans Nazzi et al. (2011), elle a été approximée à partir de la statistique F rapportée, en appliquant la relation $t = \sqrt{F}$ (valable pour $F(1, n)$), puis $d_z = t / \sqrt{n}$, en l'absence d'informations sur la variance des différences individuelles.

⁶ Nous avons également diffusé des prospectus aux logopédistes du canton, afin d'atteindre des familles dont au moins un enfant bénéficiait d'un suivi logopédique pour un TDL oral ou écrit. En effet, sachant qu'un enfant dont un membre de la famille proche (fratrie, parents) présente ce type de trouble est plus à risque d'être lui-même concerné, nous espérions augmenter la probabilité de recruter des enfants présentant ce type de profil langagier afin de commencer à constituer un groupe d'enfants à risque de TDL (Bishop, 2017). Cependant, aucun enfant n'a été recruté par ce biais.

Critères d'exclusion. Les enfants ne pouvaient pas être inclus dans l'étude s'ils présentaient : une naissance prématurée (nés avant 37 semaines d'aménorrhée), une déficience sensorielle (surdité, c c t ), une lésion cérébrale, une anomalie anatomique (p. ex. : fente palatine), un retard de développement psychomoteur et/ou cognitif.

En Suisse romande, 66 % de la population est plurilingue (Office fédéral de la statistique, 2025). Toutefois, afin de limiter la variabilité liée à l'exposition linguistique, cette étude a été menée auprès d'enfants monolingues francophones. Nous avons donc vérifié à chaque phase, auprès des parents des enfants exposés à une ou plusieurs autres langues que le français, que le temps d'exposition ne dépassait pas 9 heures par semaine, en nous basant sur un critère de 10 % du temps d'éveil moyen (Mindell et al., 2016 ; Place & Hoff, 2011), pour être inclus et rester dans l'étude.

Consentement. Les parents intéressés recevaient une lettre d'information détaillée et une déclaration de consentement libre et éclairé à signer, validées par la commission d' thique. Ils pouvaient quitter l'étude à tout moment.

2.3.3. Matériel

Cette étude mobilise un ensemble de tâches expérimentales et de mesures langagières reposant sur des stimuli linguistiques auditifs, conçu afin d'examiner la sensibilité aux régularités statistiques linguistiques et leurs relations avec le développement du langage. Cette section présente un aperçu général du matériel utilisé dans l'étude, tandis que les descriptions détaillées des stimuli, des procédures et des paramètres expérimentaux sont développées dans les chapitres et articles correspondants.

Stimuli en langage artificiel. Les stimuli en langage artificiel ont été conçus afin de manipuler de manière contrôlée des régularités statistiques linguistiques, tout en limitant l'influence de connaissances linguistiques préexistantes. Ils reposent sur des syllabes dépourvues de signification (logatomes), combinées selon des schémas réguliers impliquant des dépendances adjacentes (DA) ou non adjacentes (DNA). Dans les tâches impliquant des DA, la régularité porte sur la cooccurrence immédiate de deux éléments contigus (structure de type acX, par ex., /ti  eg malsig/). Dans les tâches impliquant des DNA, la régularité concerne la relation entre deux éléments séparés par un élément intermédiaire (structure de type aXc, par ex., /na soks  fib/).

Stimuli en langue maternelle. Les stimuli en langue maternelle (français) visent à examiner la sensibilité aux DNA dans un contexte linguistique naturel. Les régularités manipulées sont mises en œuvre à travers des structures morphosyntaxiques du français,

notamment l'accord en nombre à la troisième personne du singulier (3SG ; par ex., grammatical : *La fille perd le mique*, non grammatical : *La fille perdent le mique*) et du pluriel (3PL ; par ex., grammatical : *Les filles perdent le mique*, non grammatical : *Les filles perd le mique*), ainsi que des flexions verbales impliquant des relations non adjacentes, telles que le passé composé (par ex., grammatical : *La fille a perdu le mique*, non grammatical : *La fille a perdre le mique*) et le futur périphrastique (par ex., grammatical : *La fille va perdre le mique*, non grammatical : *La fille va perdu le mique*). Ces structures ont été sélectionnées afin de permettre une continuité linguistique entre les phases du protocole longitudinal, tout en restant adaptées aux compétences langagières attendues aux âges considérés.

Questionnaires parentaux et mesures langagières standardisées. Le développement langagier des enfants a été évalué à l'aide de questionnaires parentaux et d'épreuves standardisées, utilisés à différents âges du protocole :

- l'Inventaire Français du Développement Communicatif (IFDC ; Kern & Gayraud, 2018) à 18 et 27 mois ;
- le Développement du Langage de Production en Français (DLPF ; Bassano et al., 2020) à 40 mois ;
- la batterie d'évaluation standardisée EXAlang 3–6 (Helloin & Thibault, 2006), dont plusieurs épreuves ont été administrées à 40 mois.

Ces outils permettent d'obtenir des indices standardisés et comparables du développement lexical et morphosyntaxique, en complément des mesures issues des tâches expérimentales.

Les descriptions exhaustives du matériel expérimental, incluant la construction détaillée des stimuli, les paramètres statistiques et acoustiques, ainsi que les procédures de familiarisation et de test, sont présentées dans les chapitres et articles dédiés à chaque tâche. Le présent aperçu vise à situer le matériel dans le cadre méthodologique général de l'étude et à expliciter les principes communs guidant sa conception.

2.4. Conclusion

En résumé, ce chapitre a permis de définir les objectifs de l'étude, d'expliciter la structure du protocole longitudinal et de préciser les choix méthodologiques ayant guidé sa mise en œuvre. L'organisation en trois phases complémentaires, combinant différentes tâches et mesures langagières et articulant analyses transversales et longitudinales, vise à documenter l'émergence, l'évolution et la portée développementale des capacités d'apprentissage de

régularités statistiques linguistiques. Les choix méthodologiques opérés, tant en termes de design que de mesures, ont été conçus pour répondre au mieux à ces objectifs, tout en tenant compte des contraintes propres à l'étude du jeune enfant. Les chapitres suivants présentent de manière détaillée les différentes tâches expérimentales, les analyses associées et les résultats obtenus à chaque phase du protocole, en commençant par l'examen de la sensibilité aux DA et aux DNA à 18 et 27 mois à partir des tâches de sensibilité.

3. Sensibilité aux dépendances adjacentes et non adjacentes

Comme expliqué précédemment, la capacité à détecter des régularités dans l'input linguistique est considérée par de nombreux auteurs comme centrale dans l'acquisition du langage. Dans cette perspective, ce chapitre examine de manière expérimentale la sensibilité des jeunes enfants francophones à des dépendances adjacentes (DA) et non adjacentes (DNA) aux âges de 18 et 27 mois. Il s'inscrit dans l'objectif général de caractériser la trajectoire développementale des mécanismes d'apprentissage statistique (AS) impliqués dans le traitement des régularités linguistiques, en considérant deux types de régularités (DA vs DNA) et deux natures de stimuli (langage artificiel vs langue maternelle), afin d'en comparer les profils aux âges étudiés.

Trois tâches ont été conçues pour tenter de reproduire, chez de jeunes enfants francophones, des effets observés dans des études antérieures menées auprès d'enfants apprenant d'autres langues et/ou testés à des âges différents. Ces tâches s'inspirent des méthodologies proposées dans ces travaux, tout en adaptant les stimuli au français et en veillant à assurer une continuité entre les tâches.

Une tâche, inspirée de l'étude de Saffran, Aslin et al. (1996), évalue la sensibilité aux DA en langage artificiel et est administrée à 18 mois (DA-18m). Une autre tâche, inspirée de l'étude de Gómez (2002), porte sur la sensibilité aux DNA en langage artificiel et est administrée à 18 et 27 mois (DNA-18m et DNA-27m). Enfin, une dernière tâche, inspirée de l'étude de Nazzi et al. (2011), évalue la sensibilité aux DNA en français et est administrée à 27 mois (DNAfr-27m).

Nous commençons par présenter les tâches DNA-18m et DNA-27m (section 3.1), dont les résultats ont fait l'objet d'une note de recherche publiée dans *Journal of Speech, Language and Hearing Research*. Nous présentons ensuite la tâche DA-18m (section 3.2), puis la tâche DNAfr-27m (section 3.3). Ces deux dernières tâches partageant de nombreux aspects méthodologiques avec la première, nous resterons concis et renverrons à la note de recherche pour les éléments communs.

3.1. Sensibilité aux dépendances non adjacentes en langage artificiel – Note de recherche

État : Publié le 12 août 2025

Bodard, J., Nazzi, T., Jean-Charles, G., Pedrotti, M., & Skoruppa, K. (2025). Difficulties in Nonadjacent Dependency Learning in French-Learning Toddlers. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 1-10. https://doi.org/10.1044/2025_JSLHR-23-00608

Research Note

Difficulties in Nonadjacent Dependency Learning in French-Learning Toddlers

Julie Bodard,^a  Thierry Nazzi,^b Géraldine Jean-Charles,^a Marco Pedrotti,^c and Katrin Skoruppa^a 

^aInstitut des Sciences Logopédiques, Maison des Sciences du Langage et de la Communication – Université de Neuchâtel, Switzerland

^bIntegrative Neuroscience and Cognition Center, CNRS – Université Paris Cité, France ^cHaute École Arc Santé, HES-SO University of Applied Sciences and Arts Western Switzerland – Delémont

ARTICLE INFO

Article History:

Received September 28, 2023

Revision received November 14, 2024

Accepted April 20, 2025

Editor-in-Chief: Julie A. Washington

Editor: M. Adelaida Restrepo

https://doi.org/10.1044/2025_JSLHR-23-00608

ABSTRACT

Purpose: In the past three decades, statistical learning, that is, the capacity to detect patterns and regularities in the environment, has been shown to have an important role in language development. In particular, the ability to detect non-adjacent dependencies (NADs) between linguistic elements that are separated by intervening material seems to be linked to morphosyntactic development. However, there are few studies with French-speaking children, and none using artificial language learning methodologies.

Method: We investigated the acquisition of NADs in 18-month-old ($n = 30$) and 27-month-old ($n = 32$) monolingual French-learning children in an adaptation of Gómez (2002) artificial grammar learning study to a central fixation eye-tracking paradigm. After a 2-min familiarization with three element strings (e.g., /na soke fib/), we monitored looking times for grammatical versus ungrammatical strings in two blocks of four test trials each, expecting a novelty effect at 18 months and exploring the behavior at 27 months.

Results: No significant effect of grammaticality was found at either 18 or 27 months for the overall task. However, at 27 months, we observed a significant decrease in gaze duration for ungrammatical test trials between the first and the second blocks, together with a tendency to look longer at grammatical stimuli in the second block, a pattern of results that, if confirmed in future studies, might indicate the start of novel NAD learning.

Conclusions: Given the failure to clearly replicate effects observed in the studies with English-learning children, we propose several theoretical hypotheses to account for our results and discuss the importance of differences in age and language background as well as methodological parameters, a well-known challenge in research with young children. Further research is needed to develop robust tasks and to better understand the developmental trajectory of NAD processing abilities.

Supplemental Material: <https://doi.org/10.23641/asha.29565149>

Over the last three decades, research has underlined the importance of statistical learning, that is, the ability to detect patterns and regularities in the environment, for language acquisition (Saffran, 2020). In particular, it has been suggested that the ability to learn nonadjacent dependencies (NADs)—that is, regularities between co-occurring elements in a word, phrase, or sentence separated by intervening material—might be important for morphosyntactic

development (Erickson & Thiessen, 2015). NADs are observed in many languages, for example, in number subject–verb agreement in English (e.g., “the girl sleeps” vs. “the girls sleep”) and in French (“la fille dort” [la fiʝ dɔʁ] vs. “les filles dorment” [lɛ fiʝ dɔʁm]). In a seminal study, Gómez (2002) found that 18-month-old English learners rapidly learn the statistical regularities of nonadjacent elements in an artificial language, when the variability of the item that separates them is large enough during familiarization ($X = 24$ vs. 3 and 12). In a head-turn preference procedure (HPP), participants were exposed to one of two artificial languages for 3 min. Strings were made up of sets of three nonwords with pauses in between (e.g., pel-kicey-jic),

Correspondence to Julie Bodard: julie.bodard@unine.ch. **Disclosure:** The authors declare that no competing financial or nonfinancial interests existed at the time of publication.

consisting of two NADs between the first and last items (L1: a X d, b X e; L2: a X e, b X d). Then, during test, they heard strings following or violating these dependency rules. A novelty effect was observed, with longer listening times for the strings violating the regularity, establishing novel NAD learning in infants for the first time. The present study was conducted to contribute new data regarding the generalizability of this learning mechanism, testing infants at different ages and learning a different language, French, on which no data exist for novel NAD learning.

Further studies on NAD learning in English revealed developmental changes. For example, Gómez and Maye (2005) extended Gómez (2002) by testing toddlers of different ages with NADs in artificial grammars. They observed no preference at 12 months, a familiarity preference at 15 months, and a novelty preference at 17 months. Based on Hunter and Ames (1988) model, they interpreted these results as reflecting changes in the toddler's ability to track NADs, capturing its emergence between 12 and 17 months and its increase in efficiency between 15 and 17 months.

A few studies also tested whether NAD learning extends to other languages. Using similar stimuli and procedures as Gómez (2002), NAD learning attested by a novelty preference was found in Dutch-learning 18-month-olds (Kerkhoff et al., 2013). Further studies on German, measuring event-related potentials (ERPs), suggest that toddlers can learn novel NADs from as early as 3 months up to 2 years of age, while this ability appears to decline by around 2 to 3 years (Mueller et al., 2019; van der Kant et al., 2020). It has been proposed that this developmental shift might be driven by increasing knowledge of NADs in the native language, which may interfere with novel NAD learning (Paul et al., 2021). These studies establish NAD learning beyond English, although further additional cross-linguistic variation from more diverse, non-Germanic languages is needed.

The need for further cross-linguistic extensions is further motivated by studies on native language NAD comprehension, which have shown cross-linguistic differences in developmental trajectories. In particular, studies on the acquisition of subject–verb agreement in French have established early comprehension, by 30 months of age, of at least one agreement subsystem (based on liaison consonant, e.g., plural: “**le/les** garçon(s) **il/ils**-embrasse(nt)” [lɛ/lɛ ... il/ilz-ɛbras]/“the boy(s) he/they kiss(es)”; Legendre et al., 2010), while at a comparable age and using the same methods, English learners showed no evidence of comprehension, and Spanish learners showed only partial success (Legendre et al., 2014). The authors suggest that these cross-linguistic differences in the age of comprehension of agreement systems are linked to their perceptual saliency and cue reliability, and further studies suggest

that this early comprehension in French-learning toddlers might be linked to the early development of sensitivity to morphosyntactic nonadjacent regularities in their native language. Indeed, French-learning toddlers become sensitive to NADs involving subject–verb agreement during the second year of life, tracking remote dependencies between determiners and auxiliaries by 17 months old (e.g., “**la/les** couple(s) **va/vont** bientôt conduire” [la/lɛ ... va/vɔ̃ ...]/“The_{SG/PL} X will_{SG/PL} soon drive”; van Heugten & Shi, 2010) and between determiners and number marking on verbs at 18 and 24 months old (e.g., “**le/les** garçon(s) lit/li sent” [lɛ/lɛ ... li/liz]/“the boy(s) read(s)”; Nazzi et al., 2011). They also show sensitivity to the dependency between the determiner in the noun phrase and the redundant subject pronoun, functioning as the verbal affix agreement (e.g., singular: “**le** garçon **il**-arrive”/“the boy he walks,” pronounced [lɛ ... ilariv] with the liaison [il-a]; plural: “**les** garçons **ils**-arrivent”/“the boys they walk,” pronounced [le ... ilzariv] with the liaison [ilz-a]) at six different ages between 14 and 24 months old (Culbertson et al., 2016). Moreover, in their cross-sectional study, Culbertson et al. (2016) reported several alternations of preferences across age for grammatical and ungrammatical stimuli, with a novelty effect in 15-, 18-, and 24-month-olds, but a familiarity effect in 14- and 21-month-olds (and no effect in 20-month-olds). These changes of patterns were interpreted as evidence for distinct stages in the acquisition of these NADs (from reflecting surface statistics to higher level morphological features), revealing a complex developmental trajectory.

Given these early native morphosyntactic acquisitions in French, novel NAD learning in French toddlers might differ from what has been observed in English, Dutch, and German, a gap that the present study was designed to address. Following Gómez (2002), we investigated whether French-learning toddlers aged 18 and 27 months old can learn novel NADs of nonidentical elements (AXB) in artificial grammars, using a central fixation paradigm with a gaze-contingent display. If this ability found in English- and Dutch-learning 18-month-olds generalizes, we expect French-learning 18-month-olds to learn these novel NADs, which would be attested by a group-level novelty effect. However, given the lack of prior behavioral data at older ages, it is more challenging to predict whether 27-month-olds would show evidence of learning, and if so, the direction of this effect.

Method

Participants

Participants were recruited in the Canton of Neuchâtel in Switzerland. Families were living in the French-speaking

area of Switzerland, and French was the only language spoken at home. According to parental reports, all children were born at term (> 37 weeks of age) and had no known sensory, anatomical, cognitive, or neurological conditions.

At 18 months, data from 29 monolingual French-learning children (15 girls, 14 boys) aged 18;0–19;20 months old ($M = 18;18$ months old) were included in the analyses. An additional nine children participated but were excluded due to fussiness ($n = 3$), lack of interest ($n = 1$) or technical problems ($n = 4$), or extremely short looking times ($n = 1$; outlier with a mean looking time inferior to -1.5 interquartile range).

At 27 months, data from 31 monolingual French-learning children (15 girls, 16 boys) aged 26;18–28;2 months old ($M = 27;2$ months old) were included in the analyses. Twenty-three of the children contributed data at both ages. Eight children contributed data only at 27 months old; of these, six had participated at 18 months old but their data were excluded, and two new participants were included at 27 months old. An additional five children participated but were excluded due to fussiness ($n = 1$), refusal to perform the task ($n = 1$), technical problems ($n = 2$), or extremely short looking times ($n = 1$; same outlier, under the same conditions as at 18 months).

As part of a larger longitudinal project,¹ this study was approved by the local ethics committee on research involving humans (Swiss Ethics section of the canton of Vaud, No. 2018-00765). The participants were recruited through contacts with nurseries and pediatricians, by advertisement on social networks and press, and word of mouth. Their parents gave their free and informed consent to participate in this study via a detailed form.

Stimuli

Auditory stimuli. The auditory strings, adapted to French from Gómez (2002), were composed of three-element strings with NADs, following the structures [a X

c] and [b X d]. The first and third elements were fixed monosyllables, whereas the middle element varied among 24 disyllables. We built four artificial grammars for the familiarization phase with two lexicons, and for each lexicon, two different dependency arrangements (see Table 1). Thus, participants were familiarized with one grammar (48 strings: 2 NADs $\times$ 24 Middle Elements). Then, during the test phase, they were presented with previous strings respecting the familiarized patterns (grammatical) and new strings from the other, unfamiliar grammar (ungrammatical). Note that Grammar 1 grammatical stimuli were Grammar 2 ungrammatical stimuli and inversely, and Grammar 3 grammatical stimuli were Grammar 4 ungrammatical stimuli and inversely. The same six grammatical and six ungrammatical strings were combined in different orders to form four grammatical and four ungrammatical test trials, for a total of eight test trials for each group (see the full list of strings in Appendix).

For the familiarization and test stimuli, a female speaker native from the canton recorded several tokens of each nonword (e.g., /na/, /soke/, /fib/) in a sound attenuated booth, with a studio microphone (RØDE NT1-A with pop shield) and a Steinberg audio interface (UR22mkII), using Audacity (Version 2.2.2; Audacity Team, 2018). Individual word tokens were assembled together to constitute the “strings” (e.g., /na soke fib/), with 200-ms pauses between nonwords and 850-ms pauses between strings. String durations were 1,951 ms on average (min = 1,591 ms; max = 2,592 ms), for a total trial length of 16 s.

Visual stimuli and motivational sounds. A child-friendly Winnie the Pooh wallpaper and music were chosen to attract children into the booth. Two muted, child-friendly cartoons (involving the character Pocoyo) were chosen for the familiarization phase, during which they were displayed on the whole screen. An animated bee or butterfly GIF (height: 282 px, width: 177 px) was selected as an attention grabber for the beginning of each trial, to be played together with two nursery rhyme melodies using music boxes. For the test phase, a geometrical, colored animation (height: 490 px, width: 480 px) was chosen to be played at the center of the screen, in parallel with the auditory strings.

In order to avoid exposing our participants to the same stimuli and orders twice, four pseudorandom groups were made for the first session of the study (distribution by order of entry in the study and homogenization of the number of participants per group) and kept for the second session. Grammar, order of the items, repartition of the test trials regarding their grammaticality, and different visual stimuli were counterbalanced between the four groups within the task and between the two age sessions to control for potential biases.

¹This study is part of a longitudinal follow-up exploring links between statistical learning and morphosyntactic development in 18- to 40-month-old children. These data come from the first two of three phases. Participants were exposed to this novel NAD learning task in artificial language at 18 and 27 months of age, in the same place and with the same setting. In both sessions, an additional task was proposed along this NAD sensitivity task in artificial language: an adjacent dependency sensitivity task in artificial language at 18 months and a NAD sensitivity task in native language at 27 months. Each task, including the one presented here, lasted around 5 min, depending on the child’s interest. A short break was made between the two tasks when needed, taken outside of the sound-attenuated booth, depending on the child’s behavior and the parents’ input. The procedures of the three tasks were rather similar; however, the native language task had no familiarization phase and had different stimuli. The order in which the tasks were performed was counterbalanced according to two randomizations.

Table 1. Grammar structures and test trials strings.

NAD	Grammar 1	Grammar 2	Grammar 3	Grammar 4
1st NAD	a X c	a X d	e X g	e X h
Strings:	/na soke fib/ /na davim fib/ /na ɛɔpy3 fib/	/na soke tuv/ /na davim tuv/ /na ɛɔpy3 tuv/	/ti malsig ɛɛg/ /ti difel ɛɛg/ /ti kumo ɛɛg/	/ti malsig pad/ /ti difel pad/ /ti kumo pad/
2nd NAD	b X d	b X c	f X h	f X g
Strings:	/ko soke tuv/ /ko davim tuv/ /ko ɛɔpy3 tuv/	/ko soke fib/ /ko davim fib/ /ko ɛɔpy3 fib/	/zy malsig pad/ /zy difel pad/ /zy kumo pad/	/zy malsig ɛɛg/ /zy difel ɛɛg/ /zy kumo ɛɛg/

Note. NAD = nonadjacent dependency.

Procedure and Apparatus

The children came to the Babylab of the University of Neuchâtel with one or both parents or with a familiar caregiver. They were situated in a sound-attenuated booth on their caregiver's laps at 60 cm from a screen (24", 1,920 × 1,080 px), placed on a small table, on which a Tobii Pro X3-120 eye tracker with an external processing unit was mounted. Auditory stimuli were played through hidden loudspeakers (Fostex PM0.5n, 70-W amplifier) under the screen. Caregivers heard masking multi-speakers babble through headphones. They were also asked to not look at the screen and to keep their heads tilted forward or their eyes closed, so that they were blind to the visual stimuli and the eye tracker could not catch their gaze. A camera at the top of the screen allowed the experimenter to monitor the progress of the test online and to record the behaviors of the children and parents for offline checking.

We used a central fixation paradigm with a gaze-contingent display, using eye gaze as a proxy measure for auditory attention. For most test sessions,² the task was run using MATLAB (Version 2019b; MathWorks, 2019), using the Psychtoolbox (Brainard, 1997; Kleiner et al., 2007; Pelli, 1997), and the Titta toolbox (Niehorster et al., 2020).

Children were first exposed to a 5-point calibration with pulsating dots, manually validated. An overview of the study procedure that followed can be found in Figure 1. During the initial familiarization phase, children heard 48 strings while watching a silent cartoon. This phase lasted for 2 min, 12 s. During the test phase, eight test trials (four grammatical, four ungrammatical) were played along with the moving geometrical shape, with a maximal duration of 2 min, 8 s. Before each test trial, a gaze-contingent attention grabber was played at the center of the screen until the children looked at it for more than 1 s, which would trigger the test trial. Test trials either lasted for 16 s or ended when the child stopped looking

for two consecutive seconds. At the end of the experiment, an animated clapping emoji and a clapping sound were presented.

Data Processing and Analysis

We developed a MATLAB script (MathWorks, 2019) to extract and process the data. The raw data provided the position of the gaze on the screen every 8 ms; thus, we obtained gaze "hit" or "no hit" in the area of interest (AOI), that is, the visual stimulus (AOI of test trials visual stimulus: X: left = 576 px, right = 1,344 px; Y: top = 324 px, bottom = 756 px). We considered short tracking losses (no hit < 88 ms) and blinks (no hit between 88 and 304 ms) as continuous gaze, whereas longer gaze absences (no hit > 304 ms) were considered as absence of gaze. We manually checked the videos and excluded trials during which problems occurred and performed an interrater reliability check. A second judge checked 15% of the videos for exclusion or inclusion. Substantial agreement (according to Landis & Koch, 1977) in Cohen's kappa tests was found at 18 months (95% of agreement, $k = 0.68$) and almost perfect agreement at 27 months (97.5% of agreement, $k = 0.89$).

Results

At 18 months, 29 test trials (of 232, 12.5%) were removed because of (a) extremely short looking times (< 2 s, $n = 12$), (b) fussiness or crying ($n = 6$), (c) eye-tracking problems ($n = 9$), (d) caregiver's intervention ($n = 1$), and (e) technical problem ($n = 1$). Thus, 203 valid test trials remained for analysis, and each participant contributed at least two valid test trials per condition. At 27 months, 37 test trials (of 248, 14.9%) were removed because of (a) extremely short looking times (< 2 s, $n = 21$), (b) fussiness or crying ($n = 3$), (c) eye-tracking problems ($n = 6$), (d) caregiver's intervention ($n = 4$), and (e) interrupted trial/no data ($n = 3$). Thus, 211 valid test trials remained for analysis, and each participant contributed at least two valid test trials per condition (all raw data can be found in Supplemental Material S1). Results are presented in

²We initially ran the task with E-Prime (Version 2.0; Schneider et al., 2010), which was used to test the first 10 18-month-olds (and to calibrate all 18-month-olds), but we then decided to switch software due to technical issues, maintaining that all task parameters are identical.

Figure 1. Overview of task proceedings. AG = attention grabber; TT = test trial.

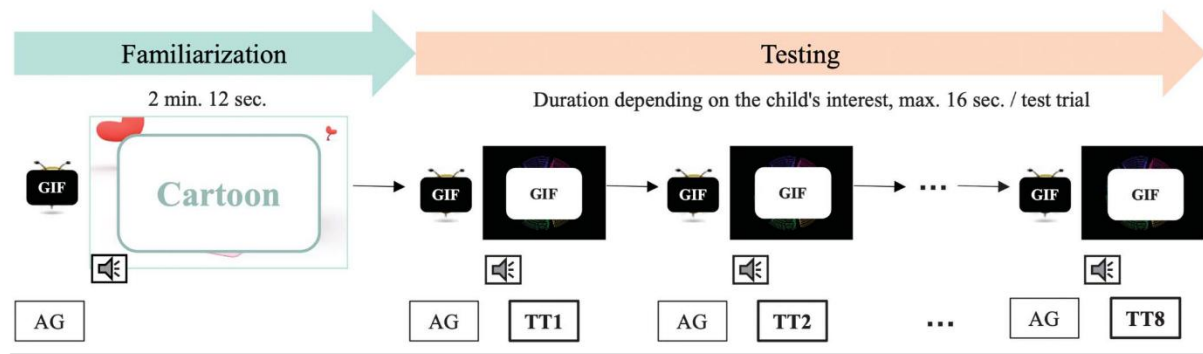


Figure 2, left panel, for the data at 18 months and in Figure 2, right panel, for the data at 27 months. Note that at both ages, participants had long looking times, especially in the first block (they looked during the entire trial in 33.6% and 42% of trials at 18 and 27 months, respectively).

Since raw looking times were not normally distributed (Shapiro–Wilk test: $W = 0.83$, $p < .001$), we transformed them into proportion scores by dividing each child’s looking time during a trial by the maximum possible duration of a trial and built generalized linear mixed models for beta distributions, with a logit link, using the `glmmTMB` package (Version 1.1.10; Brooks et al., 2017) in

R 4.3.3 (R Core Team, 2024), to analyze the effect of stimulus grammaticality on looking time per trial and per participant. The model included gaze proportion as dependent variable; grammaticality (grammatical vs. ungrammatical trials) and block (Block 1 vs. 2) as fixed effects, as well as the interaction of the latter, moderated by age as nested factor (18 vs. 27 months); and the variable participant as random effect (*R* formula: `glmmTMB(gaze_prop ~ age / (condition * block) + (1 | subject), data = data, family = beta_family(link = “logit”))`).

All results of the `glmmTMB` model are shown in Table 2. At 18 months, we found a significant effect of

Figure 2. Distribution and median of looking times by grammaticality and block at 18 months (left panel) and 27 months (right panel). The wider the violin plot, the more observations there are (small dots represent participant means). The tips of the whiskers in the box plots represent 1.5 interquartile ranges. Big red dots represent the median of the sample.

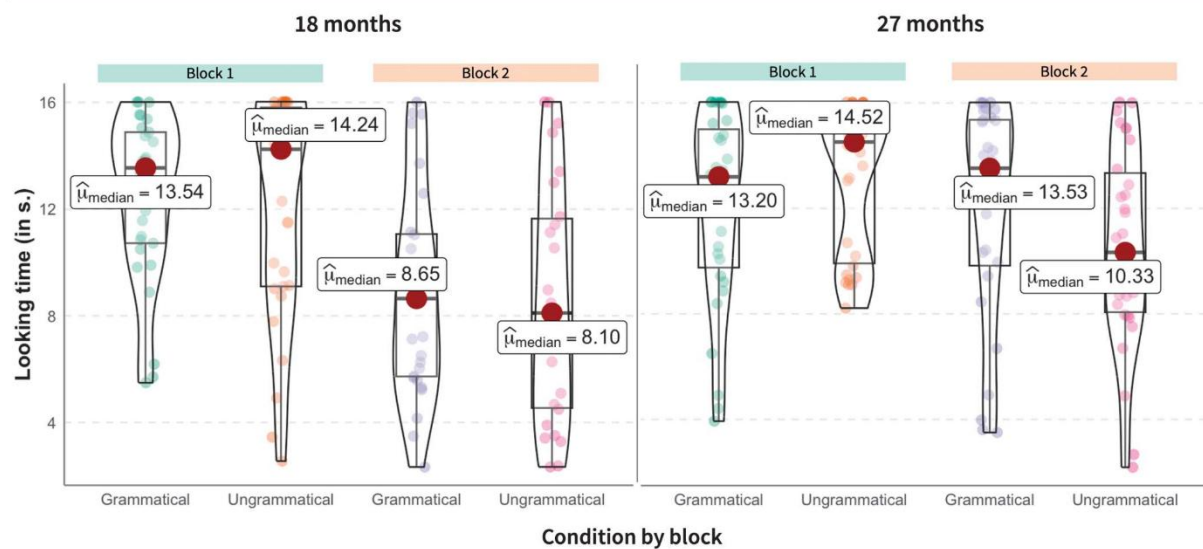


Table 2. glmmTMB results.

Predictor	Estimate	CI	<i>p</i>
(Intercept)	1.18	[0.86, 1.50]	9.48e-13***
age	0.10	[-0.33, 0.52]	.663
age18: condition	0.02	[-0.41, 0.45]	.925
age27: condition	0.23	[-0.19, 0.66]	.275
age18: block	-0.80	[-1.25, -0.35]	4.9e-4***
age27: block	-0.05	[-0.49, 0.39]	.809
age18: condition × block	-0.03	[-0.67, 0.61]	.934
age27: condition × block	-0.67	[-1.29, -0.05]	.034*
<i>SD</i> (Intercept)/subject	0.26	[0.14, 0.50]	

Note. CI = confidence interval. In bold, significant effects and interactions. * $p \leq .05$, *** $p \leq .001$.

block at 18 months ($\beta = -.799$, $p < .001$), indicating that the 18-month-olds looked significantly less in Block 2 than in Block 1 (Block1: $M = 12.15$ s vs. Block2: $M = 8.89$ s). At 27 months, we found a significant interaction between condition and block at 27 months ($\beta = -.671$, $p = .034$). To follow up on this interaction, we performed post hoc Dunn's tests targeting four comparisons between blocks and conditions. They showed no significant difference in looking times between grammatical and ungrammatical trials in Block 1 (Block1-Gram: $M = 12.06$ s, Block1-Ungram: $M = 13.22$ s, $z = -1.02$, $p = .153$ uncorrected, $p = .204$ with Benjamini–Hochberg correction), yet a tendency to look longer at grammatical over ungrammatical trials in Block 2 (Block2-Gram: $M = 11.96$ s, Block2-Ungram: $M = 10.52$ s, $z = 1.73$, $p = .042$ uncorrected, $p = .084$ with Benjamini–Hochberg correction). They also showed a significant decrease in looking times for ungrammatical trials between Block 1 and Block 2 ($z = 2.99$, $p = .001$ uncorrected, $p = .006$ with Benjamini–Hochberg correction), whereas there was no significant difference for grammatical trials ($z = 0.02$, $p = .494$ uncorrected, $p = .494$ with Benjamini–Hochberg correction).³

Discussion

Investigating the learning of novel NADs in monolingual French-learning toddlers in artificial grammar, we expected a novelty effect indicating easy acquisition in 18-month-olds, based on Gómez (2002) and Kerkhoff et al. (2013). We also aimed to explore the performance of 27-month-olds, for whom literature is scarcer. However, we found no significant grammaticality effect in either age

group. At 18 months, we observed an expected significant drop in interest between the first and second halves of the task, which was not modulated by grammaticality. Interestingly, however, at 27 months, interest declined between the first and second halves of the task for ungrammatical trials, while interest in grammatical trials remained stable. This differential decline led to a tendency for a grammaticality preference in the second block. We yet failed to establish robust novel NAD learning in French-learning 18- and 27-month-olds, although several studies have observed that French-learning toddlers are sensitive to NADs of fairly similar structures in their native language by 14 to 24 months old (Culbertson et al., 2016; Nazzi et al., 2011; van Heugten & Shi, 2010).

A first possible interpretation of our results is that, at both ages, our French-learning participants did not succeed in learning novel NADs because of methodological reasons. Indeed, our task differs from Gómez's in terms of procedure (central fixation vs. HPP) and visual stimuli (graphic animation vs. lights), which may have hindered NAD learning. Our choice of a visual fixation procedure and visual stimuli not only may have increased participants' interest in the task, leading to a relatively low dropout rate (18 months, 12%; 27 months, 11%), but also may contribute to our globally long looking times. As noted by The ManyBabies Consortium (2020) and Junge et al. (2020), HPP generally leads not only to higher dropout rates, but also to larger familiarity effects, potentially due to the need for a motor response (head turn) increasing sensitivity. Furthermore, we chose stimuli that are visually attractive to toddlers: A silent cartoon for familiarization, an animal animation as attention grabber, and colorful moving shapes as visual stimulus during the test phase. Colors and motion are known to attract visual attention (Atkinson & Braddick, 2013), and animated characters, particularly anthropomorphic animals, have proven effective for educational activities (Snyder & Mares, 2021; Valkenburg & Vroone, 2004). Consequently, our visually engaging stimuli may have heightened the toddlers' visual

³When data of the outlier participant are included, the results profile is similar with weaker effects in Dunn's tests between grammatical and ungrammatical trials in Block 2 ($p = .058$ uncorrected, $p = .115$ with Benjamini–Hochberg correction), but still a significant decrease between Block 1 and Block 2 for ungrammatical trials ($p = .002$ uncorrected, $p = .009$ with Benjamini–Hochberg correction).

interest compared to HPP procedures using blinking lights. This could explain why our participants showed overall high interest in test trials, especially in the first block. Our visually attractive stimuli may also have interfered with the processing of auditory stimuli, potentially leading to a lack of NAD learning. The use of cartoons during the familiarization phase may have reduced attention to the auditory stimuli; however, this is unlikely given the available work on auditory dominance in toddlers. Indeed, Robinson and Sloutsky (2019) found that toddlers prioritize auditory over visual input in cross-modal tasks—a finding later supported by Mueller et al. (2019), who observed consistent results in a syllable sequence learning task (NADs). Animal attention grabbers may also have triggered implicit or explicit naming effects (Helo et al., 2017). In any case, our stimuli were not only more salient but also more complex, which may have increased the cognitive demands of the task. According to Hunter and Ames' (1988) model, when tasks are more complex, a longer familiarization phase (and we would also add longer test trials to avoid ceiling effects) may be required to allow complete learning and to allow for discrimination NADs. This hypothesis may align with the absence of preference in 18-month-olds and the tendency to prefer grammatical stimuli in the second block in 27-month-olds.

A second, more developmental interpretation of our results is that the lack of preference shown by our French-learning toddlers is related to the ages that we tested and may represent normal phases in novel NAD learning. This idea relies on the model of cyclical learning development proposed by Culbertson et al. (2016), who found that, in a task assessing native NAD knowledge, toddlers of different age groups display varying preferences, interspersed with phases of no preference (Hunter & Ames, 1988). A familiarity preference would reflect incomplete information processing, whereas a novelty preference would signal robust knowledge, with an absence of preference being found during the passage from one to the other. Culbertson et al. further described two cycles of familiarity/novelty preference, possibly reflecting two levels of acquisition: an initial level focused on surface sound patterns and a subsequent level at a more abstract morphological feature level. Thus, the absence of preference we observed may indicate that our 18-months and 27-months participants are between two preference phases and possibly in two different acquisition levels (surface vs. feature). If so, novel NAD learning by French-learning infants would happen at a different pace than in English (Gómez, 2002; Gómez & Maye, 2005), in line with studies having shown that children's and adult's entrenched expectations about speech co-occurrences from their native language influence what they learn from novel linguistic input (Frost et al.,

2019). This theoretical account should be interpreted with caution, given the methodological differences between our study and that of Culbertson et al., as well as the need to replicate Culbertson et al.'s results and confirm their age clusters, potentially with a larger sample size and in a longitudinal design. Our inconclusive results at 27 months might also be linked to the decline in toddlers' ability to learn NADs in an artificial language under passive listening conditions, shown in ERP studies between 2 and 3 years of age (Mueller et al., 2019; Paul et al., 2021; van der Kant et al., 2020).

A third possible interpretation of our findings is that the significant decrease in looking times to the sole ungrammatical trials between the two experimental blocks, associated with a tendency to prefer grammatical stimuli at 27 months in the second block of the experiment, might be a weak sign that these older children have started to learn the NADs in the task. Indeed, the significant drop in interest for unfamiliar stimuli between the two blocks of the experiment may suggest a form of discrimination between the stimuli and, thus, might attest that toddlers at this age were in the process of learning the novel NADs. This effect suggests that infants were developing a familiarity preference in this second block (which, however, was not statistically significant), highlighting the difficulty of the task (following Culbertson et al., 2016; Hunter & Ames, 1988). The reason these effects appear along the test phase might be due to infants requiring more time to learn than the familiarization time given to them and/or due to long listening times during the first block. To be confirmed, such possible interpretation would need to be tested in future studies leading to clearer, significant grammaticality effects.

In conclusion, we did not find clear evidence of novel NAD learning in French-learning toddlers at either 18 or 27 months, failing to extend such learning abilities previously demonstrated in English, Dutch, and German. Our results at 27 months could be taken as an indication of ongoing learning, but the evidence remains inconclusive at this point. Future work will have to reevaluate novel NAD learning not only in French but also in different languages, extending the age range tested to get a fuller picture of the developmental trajectory of this learning ability across languages and specify the linguistic parameters that might modulate this trajectory. In doing so, parallel cross-linguistic studies using similar methods and stimuli could be conducted, adjusting the methodology used in the present study based on the considerations discussed above and increasing the sample size given that, as in all developmental studies, collapsing data across children may be affected by possible individual differences (Roder et al., 2000). Importantly, it is now acknowledged that early speech and language processing abilities partly

predict later language outcomes (see, e.g., Cristia et al., 2014, for vocabulary acquisition), and it has been proposed that the ability to learn NADs might predict morphosyntactic acquisition such as the agreement of verbal and nominal groups (Erickson & Thiessen, 2015). If this link were confirmed, then we could develop tools to measure children's early ability to learn statistical regularities and identify infants and toddlers at risk of language delay, in a context in which the need for early intervention is widely admitted (Fricke et al., 2013; Guralnick, 2011), but the means to identify at-risk children are still lacking (e.g., Bishop et al., 2017). Setting up methodologically sound and robust tasks to assess morphosyntactic skills, such as the learning of NADs at an individual level, would be a great advancement for research and for the speech and language therapy clinic. If we consider the nonlinguistic predictors currently used to assess individual variability, they were developed over many years through extensive testing and subtle methodological refinements to enhance their psychometric properties (e.g., for attention: Colombo et al., 2008). Similarly, developing sensitive and reliable tasks targeting linguistic abilities at the individual level will likely require large-scale, multivariate, longitudinal studies (Cristia et al., 2014). In particular, it would be informative to systematically evaluate the impact of controlled methodological variations across ages, including measurement methods (e.g., The ManyBabies Consortium, 2020), visual stimulus characteristics, auditory stimulus frequency and presentation order (e.g., Houston et al., 2007), and familiarization or habituation protocols (e.g., Sundara et al., 2018).

Author Contributions

Julie Bodard: Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Funding acquisition, Investigation, Methodology, Project administration, Resources, Software, Visualization, Writing – original draft, Writing – review & editing. **Thierry Nazzi:** Conceptualization, Methodology, Supervision, Writing – original draft, Writing – review & editing. **Géraldine Jean-Charles:** Data curation, Formal analysis, Software, Visualization, Writing – review & editing. **Marco Pedrotti:** Software, Writing – review & editing. **Katrin Skoruppa:** Conceptualization, Formal analysis, Methodology, Project administration, Resources, Software, Supervision, Visualization, Writing – original draft, Writing – review & editing.

Data Availability Statement

The data presented in this study are included in Supplemental Material S1 with a “Read me” tab (see

Supplemental Material S2). Further inquiries can be directed to the corresponding author.

Acknowledgments

This project was supported by an SNF Doc.CH subside (FN P0NEP1_178712) and the Chaire de logopédie I at the Institut des sciences logopédiques, Université de Neuchâtel. The authors would like to thank all participants and their families for taking part in this research, as well as the day care staff and pediatricians who helped with the recruitment. Special thanks to Salomé Schwob, who registered the auditory stimuli; Dahliane Labertonière, Salomé Schwob, and Letizia Volpin, who helped out with testing during a difficult time; and Andri Manser from the LiRI statistical consultation of the University of Zürich.

References

- Atkinson, J., & Braddick, O. (2013). Visual development. In P. D. Zelazo (Ed.), *The Oxford handbook of developmental psychology*, Vol. 1: *Body and mind* (pp. 271–309). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199958450.013.0010>
- Audacity Team. (2018). *Audacity (Version 2.2.2)* [Computer software]. <https://www.audacityteam.org/>
- Bishop, D. V. M., Snowling, M. J., Thompson, P. A., Greenhalgh, T., & CATALISE-2 Consortium. (2017). Phase 2 of CATALISE: A multinational and multidisciplinary Delphi consensus study of problems with language development: Terminology. *The Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 58(10), 1068–1080. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12721>
- Brainard, D. H. (1997). The Psychophysics Toolbox. *Spatial Vision*, 10(4), 433–436. <https://doi.org/10.1163/156856897X00357>
- Brooks, M. E., Kristensen, K., van Benthem, K. J., Magnusson, A., Berg, C. W., Nielsen, A., Skaug, H. J., Machler, M., & Bolker, B. M. (2017). glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling. *The R Journal*, 9(2), 378–400. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000240890>
- Colombo, J., Shaddy, D. J., Blaga, O. M., Anderson, C. J., Kannass, K. N., & Richman, W. A. (2008). Early attentional predictors of vocabulary in childhood. In J. Colombo, P. McCordle, & L. Freund (Eds.), *Infant pathways to language: Methods, models, and research directions*. Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9780203809907>
- Cristia, A., Seidl, A., Junge, C., Soderstrom, M., & Hagoort, P. (2014). Predicting individual variation in language from infant speech perception measures. *Child Development*, 85(4), 1330–1345. <https://doi.org/10.1111/cdev.12193>
- Culbertson, J., Koulaguina, E., Gonzalez-Gomez, N., Legendre, G., & Nazzi, T. (2016). Developing knowledge of nonadjacent dependencies. *Developmental Psychology*, 52(12), 2174–2183. <https://doi.org/10.1037/dev0000246>
- Erickson, L. C., & Thiessen, E. D. (2015). Statistical learning of language: Theory, validity, and predictions of a statistical learning account of language acquisition. *Developmental Review*, 37, 66–108. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2015.05.002>

- Fricke, S., Bowyer-Crane, C., Haley, A. J., Hulme, C., & Snowling, M. J. (2013). Efficacy of language intervention in the early years. *The Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 54(3), 280–290. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12010>
- Frost, R., Armstrong, B. C., & Christiansen, M. H. (2019). Statistical learning research: A critical review and possible new directions. *Psychological Bulletin*, 145(12), 1128–1153. <https://doi.org/10.1037/bul0000210>
- Gómez, R. L. (2002). Variability and detection of invariant structure. *Psychological Science*, 13(5), 431–436. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00476>
- Gómez, R. L., & Maye, J. (2005). The developmental trajectory of nonadjacent dependency learning. *Infancy*, 7(2), 183–206. https://doi.org/10.1207/s15327078in0702_4
- Guralnick, M. J. (2011). Why early intervention works: A systems perspective. *Infants and Young Children*, 24(1), 6–28. <https://doi.org/10.1097/IYC.0b013e3182002cfe>
- Helo, A., van Ommen, S., Pannasch, S., Danten-Dordoigne, L., & Rämä, P. (2017). Influence of semantic consistency and perceptual features on visual attention during scene viewing in toddlers. *Infant Behavior and Development*, 49, 248–266. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2017.09.008>
- Houston, D. M., Horn, D. L., Qi, R., Ting, J. Y., & Gao, S. (2007). Assessing speech discrimination in individual infants. *Infancy*, 12(2), 119–145. <https://doi.org/10.1111/j.1532-7078.2007.tb00237.x>
- Hunter, M. A., & Ames, E. W. (1988). A multifactor model of infant preferences for novel and familiar stimuli. *Advances in Infancy Research*, 5, 69–95.
- Junge, C., Everaert, E., Porto, L., Fikkert, P., de Klerk, M., Keijs, B., & Benders, T. (2020). Contrasting behavioral looking procedures: A case study on infant speech segmentation. *Infant Behavior and Development*, 60, Article 101448. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2020.101448>
- Kerkhoff, A., Bree, E. D., de Klerk, M., & Wijnen, F. (2013). Non-adjacent dependency learning in infants at familial risk of dyslexia. *Journal of Child Language*, 40(1), 11–28. <https://doi.org/10.1017/S0305000912000098>
- Kleiner, M., Brainard, D. H., Pelli, D. G., Ingling, A., Murray, R., & Broussard, C. (2007). What's new in Psychtoolbox-3. *Perception*, 36(14), 1–16.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159–174. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- Legendre, G., Barrière, I., Goyet, L., & Nazzi, T. (2010). Comprehension of infrequent subject–verb agreement forms: Evidence from French-learning children. *Child Development*, 81(6), 1859–1875. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01515.x>
- Legendre, G., Culbertson, J., Zaroukian, E., Hsin, L., Barrière, I., & Nazzi, T. (2014). Is children's comprehension of subject–verb agreement universally late? Comparative evidence from French, English, and Spanish. *Lingua*, 144, 21–39. <https://doi.org/10.1016/j.lingua.2013.05.004>
- The ManyBabies Consortium. (2020). Quantifying sources of variability in infancy research using the infant-directed-speech preference. *Advances in Methods and Practices in Psychological Science*, 3(1), 24–52. <https://doi.org/10.1177/2515245919900809>
- MathWorks. (2019). *MATLAB* (Version R2019b) [Computer software]. The MathWorks. <https://www.mathworks.com>
- Mueller, J. L., Friederici, A. D., & Männel, C. (2019). Developmental changes in automatic rule-learning mechanisms across early childhood. *Developmental Science*, 22(1), Article e12700. <https://doi.org/10.1111/desc.12700>
- Nazzi, T., Barrière, I., Goyet, L., Kresh, S., & Legendre, G. (2011). Tracking irregular morphophonological dependencies in natural language: Evidence from the acquisition of subject–verb agreement in French. *Cognition*, 120(1), 119–135. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2011.03.004>
- Niehorster, D. C., Andersson, R., & Nyström, M. (2020). Titta: A toolbox for creating PsychToolbox and Psychopy experiments with Tobii eye trackers. *Behavior Research Methods*, 52(5), 1970–1979. <https://doi.org/10.3758/s13428-020-01358-8>
- Paul, M., Männel, C., Van Der Kant, A., Mueller, J. L., Höhle, B., Wartenburger, I., & Friederici, A. D. (2021). Gradual development of non-adjacent dependency learning during early childhood. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 50, Article 100975. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2021.100975>
- Pelli, D. G. (1997). The VideoToolbox software for visual psychophysics: Transforming numbers into movies. *Spatial Vision*, 10(4), 437–442. <https://doi.org/10.1163/156856897x00366>
- R Core Team. (2024). *R: A language and environment for statistical computing* (Version 4.3.3) [Computer software]. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Robinson, C. W., & Sloutsky, V. M. (2019). Two mechanisms underlying auditory dominance: Overshadowing and response competition. *Journal of Experimental Child Psychology*, 178, 317–340. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2018.10.001>
- Roder, B. J., Bushnell, E. W., & Sasseville, A. M. (2000). Infants' preferences for familiarity and novelty during the course of visual processing. *Infancy*, 1(4), 491–507. https://doi.org/10.1207/S15327078IN0104_9
- Saffran, J. R. (2020). Statistical language learning in infancy. *Child Development Perspectives*, 14(1), 49–54. <https://doi.org/10.1111/cdep.12355>
- Schneider, W., Eschman, A., & Zuccolotto, A. (2010). *E-Prime* (Version 2.0) [Computer software]. Psychology Software Tools.
- Snyder, M. N., & Mares, M.-L. (2021). Preschoolers' choices of television characters as sources of information: Effects of character type, format, and topic domain. *Journal of Experimental Child Psychology*, 203, Article 105034. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2020.105034>
- Sundara, M., Ngon, C., Skoruppa, K., Feldman, N. H., Onario, G. M., Morgan, J. L., & Peperkamp, S. (2018). Young infants' discrimination of subtle phonetic contrasts. *Cognition*, 178, 57–66. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2018.05.009>
- Valkenburg, P. M., & Vroone, M. (2004). Developmental changes in infants' and toddlers' attention to television entertainment. *Communication Research*, 31(3), 288–311. <https://doi.org/10.1177/0093650204263435>
- van der Kant, A., Männel, C., Paul, M., Friederici, A. D., Höhle, B., & Wartenburger, I. (2020). Linguistic and non-linguistic non-adjacent dependency learning in early development. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 45, Article 100819. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2020.100819>
- van Heugten, M., & Shi, R. (2010). Infants' sensitivity to non-adjacent dependencies across phonological phrase boundaries. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 128(5), EL223–EL228. <https://doi.org/10.1121/1.3486197>

Appendix

List of Audio Stimuli

Grammar 1/2	Grammar 3/4
Dependencies – first element	
/na/	/ti/
/ko/	/zy/
Dependencies – last element	
/fib/	/kɛg/
/tuv/	/pad/
Variable middle element	
/davim/*	/kumo/*
/sokɛ/*	/malsig/*
/kɔ̃pyʒ/*	/difɛl/*
/gɔ̃sfɔl/	/vɔ̃dim/
/mægo/	/kyse/
/gula/	/puɛyʒ/
/pɛgɔɛl/	/fɔ̃sgɔl/
/pɔ̃sty/	/loga/
/ɛfbam/	/gɔpɔɛl/
/jyda/	/taspy/
/mivɛ/	/iftam/
/stɔ̃jʊɛ/	/dɛ̃ja/
/nɛ̃bez/	/vamɛ̃/
/pystim/	/skiguɛ/
/nofym/	/benɛz/
/tɔ̃snak/	/ʒɛspim/
/lyja/	/fɛ̃nym/
/ziɛra/	/pɔ̃stak/
/blevɔ̃t/	/jila/
/lubip/	/kuza/
/sɔ̃lmig/	/plizɔ̃t/
/lisɛb/	/balip/
/balno/	/sylɛb/
/vadɛl/	/nilbo/

En résumé, nous n'avons pas trouvé de sensibilité pour les DNA en langage artificiel à 18 mois, et une possible sensibilité limitée à 27 mois. Afin de compléter l'examen de la sensibilité aux dépendances, nous abordons maintenant la sensibilité aux DA, avec une tâche construite selon un protocole analogue à celui décrit pour les tâches DNA-18m et DNA-27m.

3.2. Sensibilité aux dépendances adjacentes en langage artificiel

3.2.1. Introduction

L'examen de la sensibilité aux dépendances adjacentes (DA) constitue une strate complémentaire à l'étude des dépendances non adjacentes (DNA) présentée dans la section précédente. Alors que les DNA impliquent la mise en relation d'éléments distants et posent des exigences cognitives présumées plus importantes, les DA reposent sur des relations locales entre éléments qui se suivent et sont généralement considérées comme plus accessibles dans les premières étapes du développement (Saffran, Aslin et al., 1996). Leur étude va ainsi permettre d'évaluer si les enfants francophones de 18 mois manifestent une sensibilité robuste pour ce type de régularité — notamment les régularités transitionnelles — qui, selon la littérature, émerge plus précocement et pourrait refléter des mécanismes d'apprentissage statistique (AS) plus élémentaires.

Dans cette tâche proposée lors de la Phase 1 à 18 mois, les enfants sont exposés à des séquences de syllabes axées sur une structure adjacente de type acX, adaptée au français. Comme dans les tâches DNA-18m et DNA-27m, la sensibilité est évaluée à l'aide d'un paradigme de familiarisation-test avec mesure du temps de regard par oculométrie, mais la relation entre les éléments porteurs de la dépendance est ici strictement adjacente (ac).

Des études montrent que les nouveau-nés sont déjà sensibles aux probabilités transitionnelles dans un flux continu (Fló et al., 2019 ; Teinonen et al., 2009). À partir de cinq mois, les nourrissons anglophones utilisent effectivement ces probabilités transitionnelles pour segmenter des mots (Aslin et al., 1998 ; Saffran, Aslin et al., 1996 ; Thiessen & Erickson, 2013), y compris dans une langue naturelle inconnue comme l'italien (Pelucchi et al., 2009). Cette capacité est également observée dans d'autres langues, notamment en néerlandais (Johnson & Tyler, 2010) et en français (Goyet et al., 2013 ; Hoareau et al., 2019 ; Mersad & Nazzi, 2012), bien que les effets semblent dépendre de conditions expérimentales telles que l'uniformité de la longueur des mots. À notre connaissance, aucune étude n'a examiné la sensibilité aux DA conditionnelles de ce type à 18 mois dans un paradigme comparable. Les données disponibles concernent principalement des nourrissons plus jeunes (nouveau-nés jusqu'à 12 mois).

Nous nous concentrons dans cette section sur la sensibilité aux DA en langage artificiel à 18 mois. Au regard de la littérature, nous nous attendons à ce que les enfants à cet âge manifestent une sensibilité à ce type de régularités, possiblement sous la forme d'un effet de nouveauté, les DA étant considérées comme relativement faciles à apprendre et détectées très précocement.

Par ailleurs, compte tenu de l'émergence tardive et fragile d'un effet de familiarité observé dans la tâche DNA-27m (section 3.1), nous examinons également l'évolution temporelle des temps de regard au cours de la tâche DA-18m, en testant l'influence du facteur bloc et son interaction potentielle avec la grammaticalité. La suite de cette section présente, pour cette tâche, la méthodologie, les résultats et leur interprétation.

3.2.2. Méthodologie

Participants. Les données de vingt-huit enfants monolingues français (16 filles, 12 garçons) âgés de 18 ; 0 à 19 ; 20 mois ($M = 18 ; 16$ mois) sont incluses dans les analyses. Dix autres enfants ont participé, mais ont été exclus en raison de : (a) agitation ($n = 4$), (b) problème technique ou d'oculométrie ($n = 4$), (c) erreur de l'expérimentatrice ($n = 1$) ou (d) temps de regard trop court (< 2 s, $n = 1$).

Stimuli auditifs. Les séquences auditives ont été adaptées de Gómez (2002) pour les enfants francophones et pour présenter des régularités adjacentes. Elles sont ainsi construites selon les mêmes principes que celles utilisées dans nos tâches DNA-18m et DNA-27m en langage artificiel (section 3.1) et ne varient que par l'ordre des non-mots. Il s'agit donc de séquences de trois éléments suivant les structures [acX] et [bdX] (par ex., /**ti** **ɤɛg** kumo/ pour la tâche DA et /**ti** kumo **ɤɛg**/ pour la tâche DNA). Le premier et le deuxième élément sont des monosyllabes fixes, alors que le troisième élément varie parmi 24 syllabes. Quatre grammaires ont été construites pour la phase de familiarisation à partir de deux lexiques de non-mots, et pour chaque lexique deux différents arrangements de DA (cf. Tableau 3). Les enfants étaient familiarisés avec une grammaire (48 séquences : 2 DA * 24 éléments variant). Puis, pendant la phase test, ils étaient exposés à des séquences familières (grammaticales), entendues lors de la familiarisation, ainsi qu'à de nouvelles séquences (non grammaticales), non entendues précédemment, car issues de l'autre grammaire — avec le même lexique mais combiné différemment. Les stimuli grammaticaux de la Grammaire 1 sont donc les stimuli non grammaticaux de la Grammaire 2 et inversement, et les stimuli grammaticaux de la Grammaire 3 sont les stimuli non grammaticaux de la Grammaire 4 et inversement. Il est à noter également

que dans la tâche DNA-18m présentée lors de la même session, les enfants étaient exposés à l'autre lexique que celui présenté pour la tâche DA-18m.

Tableau 3

Structure des grammaires artificielles et items des essais

DA	Grammaire 1	Grammaire 2	Grammaire 3	Grammaire 4
1^{ère} DA	a c X	a d X	e g X	e h X
	/ti ʁɛg kumo/	/ti pad kumo/	/na fib davim/	/na tuv davim/
	/ti ʁɛg malsig/	/ti pad malsig/	/na fib soke/	/na tuv soke/
	/ti ʁɛg difel/	/ti pad difel/	/na fib ʁõpɜ/	/na tuv ʁõpɜ/
2^{nde} DA	b d X	b c X	f h X	f g X
	/zy pad kumo/	/zy ʁɛg kumo/	/ko tuv davim/	/ko fib davim/
	/zy pad malsig/	/zy ʁɛg malsig/	/ko tuv soke/	/ko fib soke/
	/zy pad difel/	/zy ʁɛg difel/	/ko tuv ʁõpyɜ/	/ko fib ʁõpyɜ/

Comme pour la tâche DNA, les mêmes séquences grammaticales et non grammaticales ont été combinées dans des ordres différents pour former 4 essais grammaticaux et 4 essais non grammaticaux, pour un total de 8 essais pour chaque groupe (cf. la liste complète des items en annexe dans Bodard et al., 2025).

Les exemplaires de non-mots utilisés sont les mêmes que pour les tâches DNA-18m et DNA-27m (combinés dans des ordres différents), dont les conditions d'enregistrement sont décrites dans Bodard et al. (2025). Les exemplaires des non-mots ont été assemblés pour constituer les séquences, avec une pause de 200 ms entre les non-mots et une pause de 850 ms entre les séquences (par ex., /na/ – 200 ms – /fib/ – 200 ms – /soke/ – 850 ms), de façon identique aux DNA. La durée des essais est de 15,5 s.

Stimuli visuels et sons d'accroche. Les stimuli visuels et les sons d'accroche pour l'entrée dans la cabine sont identiques à ceux utilisés dans Bodard et al. (2025) et présentés au centre de l'écran. Les stimuli ont été contrebalancés entre les tâches de DA-18m et de DNA-18m en fonction du groupe, afin que les enfants voient et entendent des stimuli différents (lexique différent) lors des deux tâches.

Dispositif et procédure. Le dispositif et la procédure de la passation étaient identiques à ceux des tâches DNA-18m et DNA-27m décrits dans Bodard et al. (2025). L'enfant et son accompagnant étaient accueillis dans un bureau de l'université aménagé à cet effet. Un temps

d'échange, voire de jeu, permettait à l'enfant de s'acclimater au lieu et à l'expérimentatrice. Chaque tâche durait environ 5 minutes — la durée variant en fonction de l'intérêt manifesté par l'enfant. Une courte pause (quelques minutes) était réalisée entre les deux tâches à l'extérieur de la cabine insonorisée et sa durée variait en fonction du comportement de l'enfant et de l'avis des parents. À la fin de la session — qui durait au total autour de 45 mn à 1 h — l'enfant recevait un cadeau et un diplôme avec une photo de lui prise à cette occasion. La passation de la tâche DA-18m a eu lieu lors de la même session que la tâche DNA-18m et l'ordre de passation des tâches a été contrebalancé.

Traitement et analyse des données. Le traitement et l'analyse des données étaient identiques à ceux des tâches DNA-18m et DNA-27m décrits dans Bodard et al. (2025).

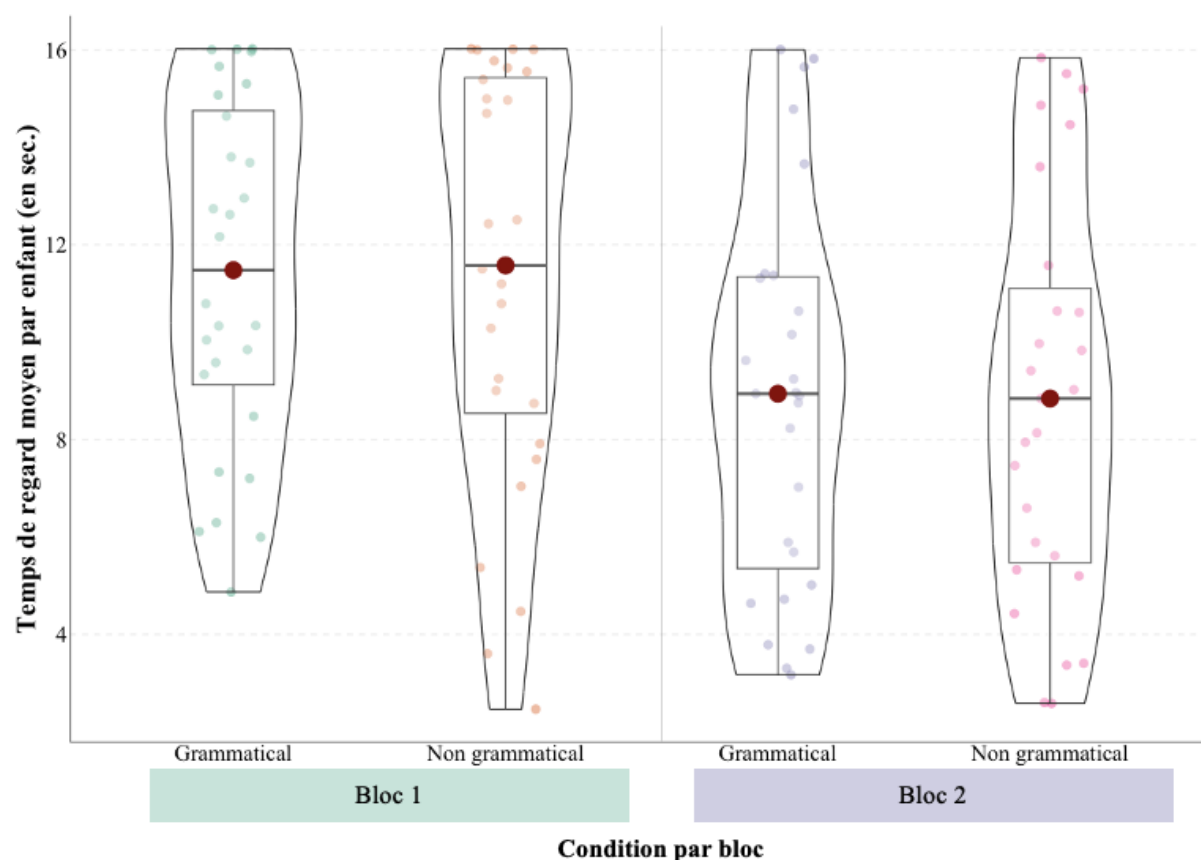
3.2.3. Résultats

Vingt et un essais (sur 224, soit 9,4 %) ont été exclus pour les raisons suivantes : temps de regard extrêmement court (< 2 secondes, $n = 13$) ; perturbation externe ($n = 5$) ou problème technique/de suivi oculaire ($n = 3$). Ainsi, 203 essais valides ont été conservés pour l'analyse, et chaque participant a contribué à au moins deux essais valides par condition. Les données brutes seront disponibles en libre accès sur le serveur institutionnel de l'Université de Neuchâtel : Libra, <https://libra.unine.ch/home>.

Les résultats sont présentés dans la Figure 2. Les participants ont eu des temps de regard longs tout au long de la tâche, ils ont regardé 26,1 % des essais pendant toute leur durée (Bloc 1 : 25 % ; Bloc 2 : 27,3 %).

Figure 2

Distribution et médianes des temps de regard par condition et par bloc à la tâche DA-18m



Note. Les points rouges représentent la médiane de l'échantillon. Les extrémités des boîtes à moustaches représentent 1,5 écart interquartile.

Les temps d'observation bruts n'étant pas normalement distribués (test de Shapiro-Wilk : $W = 0.85$, $p < .001$), comme dans Bodard et al. (2025), ils ont été transformés en proportions en divisant le temps d'observation de chaque enfant pendant un essai par la durée maximale possible d'un essai. Un modèle linéaire généralisé mixte pour les distributions bêta avec un lien logit a été construit, à l'aide du package `glmmTMB` (Brooks et al., 2017 ; version 1.1.10) dans R 4.3.3 (R Core Team, 2024), afin d'analyser l'effet de la grammaticalité du stimulus et du facteur bloc sur le temps de regard, par essai et par participant. Le modèle choisi, dans la continuité des résultats obtenus à la tâche DNA-27m (cf. section 3.1) comprend la proportion de temps de regard comme variable dépendante, la grammaticalité (essais grammaticaux vs non grammaticaux) et le bloc (blocs en variable continue) comme effets fixes, ainsi que l'interaction de la grammaticalité et du bloc, et la variable participant comme effet aléatoire (formule R : `glmmTMB(gaze_prop ~ condition*block + (1 | subject), data = data_DA, family = beta_family(link = "logit"))`).

Tous les résultats du modèle *glmmTMB* sont présentés dans le Tableau 4. Le modèle a révélé un effet principal significatif du bloc. La proportion de regards a significativement diminué dans le second bloc ($Mdn_{\text{bloc1}} = 13.18$, $Mdn_{\text{bloc2}} = 7.47$, $\beta = -0.51$, $p = .029$). Il n'y a pas eu d'effet principal de la grammaticalité ($Mdn_{\text{gram}} = 10.62$, $Mdn_{\text{nongram}} = 10.67$) ni d'interaction significative entre la grammaticalité et le bloc ($Mdn_{\text{gram/bloc1}} = 12.39$, $Mdn_{\text{nongram/bloc1}} = 13.39$, $Mdn_{\text{gram/bloc2}} = 7.39$, $Mdn_{\text{nongram/bloc2}} = 7.53$).

Tableau 4

Résultats du modèle glmmTMB pour DA-18m

Prédicteur	Coefficient estimé	IC	<i>p</i>
(Intercept)	1.59	[0.84, 2.34]	3.34 ^e -05***
condition 2	0.02	[-0.99, 0.02]	.973
bloc 2	-0.51	[-0.96, -0.05]	.029*
condition 2 : bloc 2	-0.02	[-0.67, 0.62]	.943

Note. IC = intervalle de confiance [2.5 %, 97.5 %]. *p* = p-valeur. ** $p \leq .01$, *** $p \leq .001$. Les effets et interactions significatifs sont indiqués en gras.

Les analyses concernant les liens entre la sensibilité aux régularités statistiques et les compétences langagières seront présentées au chapitre 5.

3.3. Sensibilité aux dépendances non adjacentes en français

3.3.1. Introduction

L'étude de la sensibilité aux dépendances non adjacentes (DNA) en langage naturel constitue une étape complémentaire pour caractériser la trajectoire d'acquisition par laquelle les jeunes enfants francophones appréhendent les régularités morphosyntaxiques présentes dans leur input quotidien. Cette tâche (DNAfr-27m) vient ainsi compléter l'étude des DNA en langage artificiel (section 3.1), en permettant d'examiner si les enfants sont sensibles aux structures authentiques du français auxquelles ils ont été exposés depuis leur naissance, selon l'hypothèse que cet apprentissage serait susceptible de reposer sur des mécanismes d'apprentissage statistique (AS) similaires.

La nature du stimulus diffère profondément des tâches en langage artificiel. En langage naturel, l'enfant a déjà été exposé pendant 27 mois à sa langue maternelle, mais la fréquence dans l'input et les contextes d'occurrence des structures cibles échappent au contrôle expérimental, la variabilité en termes de lexique et de structures est plus importante et les

indices acoustiques peuvent être peu saillants (surtout pour le pluriel et certains participes passés). En revanche, en langage artificiel, la structure est très simplifiée et que les enfants y sont exposés pendant un temps très limité, mais avec une consistance robuste de l'input.

Pour rappel, dans cette thèse, nous considérons comme dépendances non adjacentes en français aussi bien les relations d'accord morphosyntaxique (p. ex. sujet-verbe : *les filles... mordent*) que certaines structures périphrastiques, telles qu'auxiliaire + participe passé (*a mordu*) ou modal + infinitif (*va mordre*). Cette conception est cohérente avec certaines approches psycholinguistiques de l'AS, qui mettent l'accent sur la détection de régularités conditionnelles entre éléments séparés linéairement dans le flux de parole. D'autres cadres théoriques, notamment dans la tradition générativiste (Chomsky, 1969), analysent plus généralement les structures périphrastiques en termes de sélection morphosyntaxique plutôt que comme des dépendances d'accord au sens strict (Falk, 2003). Par ailleurs, certaines approches développementales également ancrées dans le générativisme, telles que les travaux de van der Lely, définissent les dépendances dites « distantes » en se fondant sur des critères structurels et hiérarchiques, la distance linéaire entre les éléments n'étant pas en elle-même déterminante, bien qu'elle puisse participer à la complexité de ces relations (van Der Lely, 1997). Dans la présente thèse, nous retenons une définition plus minimale de la non-adjacence, fondée sur la séparation linéaire (en termes de syllabes) et la cooccurrence régulière entre éléments morphosyntaxiques, afin de rendre compte de la sensibilité des apprenants à des régularités morphosyntaxiques précoces.

Comme mentionné dans l'introduction théorique de cette thèse, les travaux antérieurs ont montré que les jeunes enfants francophones sont sensibles, dès la deuxième année de vie, à certaines DNA morphosyntaxiques, notamment à des régularités impliquant l'accord en nombre marqué par le déterminant et la liaison du pronom clitique (Culbertson et al., 2016), l'auxiliaire/le modal (van Heugten & Shi, 2010) ou la forme verbale (Nazzi et al., 2011). La tâche DNAfr-27m s'inscrit dans ce cadre en testant la sensibilité aux contrastes entre phrases grammaticales et non grammaticales portant sur deux catégories de DNA morphosyntaxiques du français : l'accord en nombre à la troisième personne du présent de l'indicatif (3SG / 3PL), ainsi que les flexions temporelles du passé composé (PC) et du futur périphrastique (FP).

Ces structures reposent sur une relation à distance entre le déterminant du groupe sujet et la flexion verbale (*la fille perdo* ; *les filles perdent*), ou entre un auxiliaire/modal et la terminaison verbale (*la fille a perdu* ; *la fille va perdre*). Elles correspondent toutes à une régularité de type *aXc*, avec un ou deux éléments médians (syllabes).

Cette tâche permet donc d'examiner dans quelle mesure les enfants francophones de 27 mois sont sensibles à des violations morphosyntaxiques impliquant des DNA présentes dans leur input naturel. Au regard de la littérature, nous nous attendons à ce que les enfants à cet âge manifestent une sensibilité à ce type de régularités, possiblement sous la forme d'un effet de nouveauté comme dans Nazzi et al. (2011). La section qui suit détaille la méthodologie employée pour tester cette sensibilité, puis présente les résultats obtenus et leur interprétation.

3.3.2. Méthodologie

Participants. Les données de vingt-six enfants monolingues français (15 filles, 11 garçons) âgés de 26 ; 18 à 28 ; 2 mois ($M = 27$; 3 mois) sont incluses dans les analyses. Dix autres enfants ont participé mais ont été exclus pour les raisons suivantes : (a) absence de participation effective à la tâche ($n = 5$), (b) problème technique ou d'oculométrie ($n = 3$) ou (c) moins de 4 essais valides sur 8 dans l'une des conditions de grammaticalité ($n = 2$).

Stimuli auditifs. La tâche DNAfr-27m met en œuvre des DNA à travers l'accord en nombre à la troisième personne du singulier et du pluriel, ainsi que des flexions du passé composé et du futur périphrastique, dans des items grammaticaux et non grammaticaux. Les stimuli sont inspirés de Nazzi et al. (2011), avec un groupe nominal sujet, un verbe avec une différence audible entre le singulier et le pluriel, et un groupe nominal objet composé d'un déterminant et d'un non-mot — ce qui neutralise l'influence possible des connaissances lexicales au niveau de l'objet. Plusieurs adaptations ont néanmoins été apportées : (1) inclusion de structures au passé composé et au futur périphrastique ; (2) emploi du nom *filles* (versus *garçons*) afin de réduire la distance entre le déterminant et la flexion verbale — homogénéisant ainsi les stimuli de nombre et de temps avec une ou deux syllabes entre les éléments de la DNA — et d'être plus proche de la structure des séquences de non-mots utilisées dans les tâches DNA-18m et DNA-27m ; (3) sélection de verbes permettant d'obtenir des formes bisyllabiques pour le participe passé et l'infinitif. Un exemple de stimulus est donné pour chaque condition avec le verbe perdre dans le Tableau 5 ci-dessous et une liste complète des 48 items figure en Annexe B.

Six verbes du deuxième et du troisième groupe (*finir, nourrir, conduire, construire, mordre, perdre*) ont été sélectionnés car ils présentent des contrastes morphologiques audibles, sont des verbes transitifs et imaginables répertoriés dans le lexique des jeunes enfants (DLPF ; Bassano et al., 2020 ; Boisseau, 2020).

Tableau 5

Exemple de stimuli auditifs de la tâche DNAfr-27m avec le verbe « perdre »

	Grammatical	Non grammatical
Singulier	La fille perd le mique	La fille perdent le mique
Pluriel	Les filles perdent le mique	Les filles perd le mique
Passé composé	La fille a perdu le mique	La fille a perdre le mique
Futur périphrastique	La fille va perdre le mique	La fille va perdu le mique

Les conditions d'enregistrement sont les mêmes que celles décrites dans Bodard et al. (2025). Les phrases sont séparées par une pause d'une durée moyenne de 850 ms, avec ajustement des durées au sein d'un même essai pour que tous les essais aient la même durée totale. La durée des essais était de 15 s.

Structure de la tâche. La tâche comporte 4 blocs : 2 blocs « Nombre » et 2 blocs « Temps ». Chaque bloc comprend 4 essais : 2 essais grammaticaux et 2 essais non grammaticaux. Aucun essai identique (même condition de grammaticalité et même structure morphosyntaxique) n'apparaît consécutivement. Chaque essai contient les 6 verbes, présentés dans un ordre pseudo randomisé. Chaque item apparaît deux fois dans l'ensemble de la tâche, mais à des positions différentes. La grammaticalité et la structure morphosyntaxique du premier essai varient systématiquement entre les quatre blocs d'un même groupe et entre les quatre groupes de participants. L'ordre des essais et l'ordre des blocs sont contrebalancés (voir Annexe C).

Stimuli visuels et sons d'accroche. Un fond d'écran illustrant une scène de Peppa Pig (pique-nique ou plage), accompagné d'une musique entraînante, accueillait les enfants dans la cabine. Un GIF animé représentant un poisson (bleu ou rouge), associé à une mélodie enfantine, servait de stimulus d'accroche au début de chaque essai. Pour la phase de test, une forme géométrique animée (couleurs chaudes ou froides) était présentée au centre de l'écran, associée aux stimuli auditifs. Une animation ludique intermédiaire (chien en bateau ou en sous-marin) permettait une pause attentionnelle après le deuxième bloc. Tous les stimuli visuels et sonores étaient contrebalancés entre les 4 groupes de participants.

Dispositif et procédure. Le dispositif et la procédure de la passation étaient identiques à ceux des tâches DNA-18m et DNA-27m décrits dans Bodard et al. (2025) et le déroulement de la session était identique à celui décrit dans les sections consacrées à la tâche DA-18m. La

passation a eu lieu lors de la même session que la tâche DNA-27m, l'ordre de passation des tâches DNA-27m et DNAfr-27m a donc été contrebalancé.

En revanche, la procédure présentait certaines différences. Contrairement aux tâches DA-18m, DNA-18m et DNA-27m, aucune familiarisation n'était nécessaire puisque les stimuli étaient en langue maternelle. La phase de test comprenait 16 essais organisés en 4 blocs de 4 essais. Avant chaque essai, un stimulus d'accroche du regard était affiché au centre de l'écran jusqu'à ce que l'enfant le regarde pendant au moins une seconde, ce qui déclenchait l'essai. Les essais duraient 15 secondes ou prenaient fin après 2 secondes consécutives de désengagement. La pause attentionnelle avec l'animation en milieu de tâche durait 25 s. À la fin de l'expérience, un emoji animé applaudissant, associé à un son d'applaudissements, était présenté.

Traitement et analyse des données. Le traitement et l'analyse des données étaient identiques à ceux des tâches DNA-18m et DNA-27m décrits dans Bodard et al. (2025).

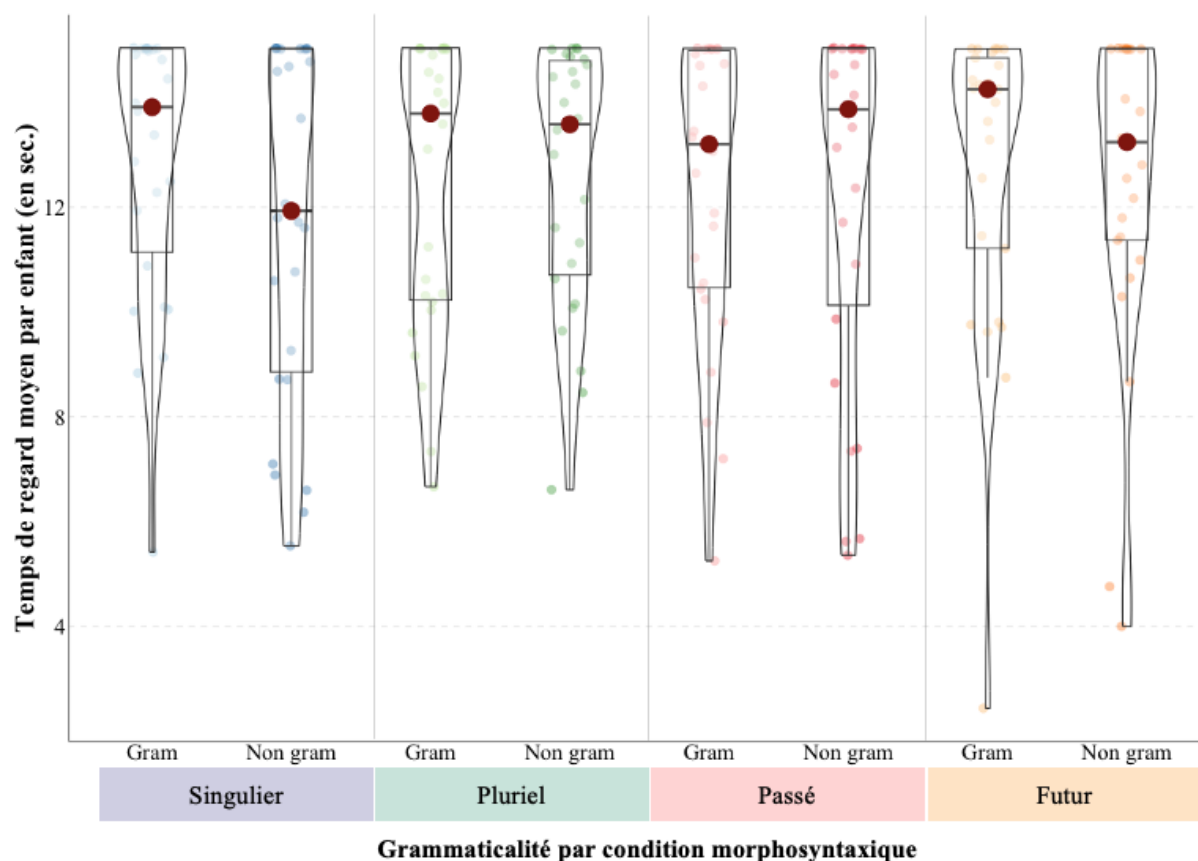
3.3.3. Résultats

Cinquante-quatre essais (sur 416, soit 13 %) ont été exclus pour les raisons suivantes : temps de regard extrêmement courts ($<$ durée d'un item, $n = 8$) ; agitation ou absence de participation ($n = 13$) ; problèmes techniques ou de suivi oculaire ($n = 6$) ; intervention du parent ($n = 3$) ; essais interrompus ou absence de données ($n = 21$) ou erreur de l'expérimentatrice ($n = 3$). Ainsi, 362 essais valides ont été conservés pour l'analyse, et tous les participants ont contribué à au moins quatre essais valides par condition de grammaticalité (grammatical / non grammatical) et par catégorie morphosyntaxique (nombre / temps). Notons que tous ont participé à au moins deux essais valides pour chacun des quatre types de structure (singulier, pluriel, passé, futur), à l'exception d'un enfant (4 essais valides au passé, 0 au futur). Les données brutes seront disponibles en libre accès sur le serveur institutionnel de l'Université de Neuchâtel : Libra.

Près de la moitié des essais ont été regardés dans leur intégralité (47,5 %), avec une diminution de cet effet plafond au fil du temps (bloc 1 : 73,0 % ; bloc 2 : 44,7 % ; bloc 3 : 35,9 % ; bloc 4 : 31,6 %). La distribution des temps de regards en fonction de la grammaticalité et de la condition morphosyntaxique est présentée dans la Figure 3.

Figure 3

Distribution et médianes des temps de regard par condition de grammaticalité et par condition morphosyntaxique à la tâche DNAfr-27m



Note. Les points rouges représentent la médiane de l'échantillon. Les extrémités des boîtes à moustaches représentent 1,5 écart interquartile.

Les temps de regard bruts n'étant pas normalement distribués (test de Shapiro-Wilk : $W = 0.73$, $p < .001$), comme dans Bodard et al. (2025), ils ont été transformés en proportions en divisant le temps de regard de chaque enfant pendant un essai par la durée maximale d'un essai. Des modèles linéaires généralisés mixtes pour les distributions beta avec un lien logit ont été construits à l'aide du package glmmTMB (Brooks et al., 2017 ; version 1.1.10) dans R 4.3.3 (R Core Team, 2024), afin d'analyser l'effet de la grammaticalité du stimulus sur le temps de regard par essai et par participant. Le modèle choisi comprend la proportion de temps de regard comme variable dépendante, la grammaticalité (essais grammaticaux vs non grammaticaux) et la condition morphosyntaxique (singulier vs pluriel vs passé composé vs futur périphrastique) comme effets fixes, ainsi que l'interaction de la grammaticalité et de la condition morphosyntaxique, et la variable participant comme effet aléatoire (formule R :

glmmTMB(gaze_prop ~ cond_gram*cond_notion + (1 | subject), data = data_DNA2, family = beta_family(link = "logit"))).

Les résultats du modèle glmmTMB sont présentés dans le Tableau 6. Le modèle n'a révélé aucun effet ni de la grammaticalité ($Mdn_{gram} = 14.90$, $Mdn_{nongram} = 14.39$), ni de la condition morphosyntaxique ($Mdn_{3SG} = 14.82$, $Mdn_{3PL} = 14.61$, $Mdn_{PC} = 14.47$, $Mdn_{FP} = 15.01$), ni d'interaction significative entre les deux (3SG : $Mdn_{gram} = 14.97$, $Mdn_{nongram} = 14.55$; 3PL : $Mdn_{gram} = 14.78$, $Mdn_{nongram} = 14.14$; PC : $Mdn_{gram} = 14.79$, $Mdn_{nongram} = 14.17$; FP : $Mdn_{gram} = 14.71$, $Mdn_{nongram} = 15.01$).⁷

Tableau 6

Résultats du modèle glmmTMB pour la tâche DNAfr-27m

Prédicteur	Coefficient estimé	IC	<i>p</i>
(Intercept)	1.61	[1.26, 1.96]	< 2 ^e -16***
non grammatical	-0.21	[-0.67, 0.26]	.388
pluriel	-0.04	[-0.50, 0.43]	.876
passé	-0.17	[-0.63, 0.30]	.479
futur	-0.07	[-0.53, 0.40]	.784
non grammatical : pluriel	0.06	[-0.59, 0.72]	.856
non grammatical : passé	0.18	[-0.47, 0.84]	.582
non grammatical : futur	0.21	[-0.45, 0.87]	.527

Note. cond_gram1 = grammatical ; cond_gram2 = non grammatical ; cond_notion1 = singulier ; cond_notion2 = pluriel ; cond_notion3 = passé ; cond_notion4 = futur. IC = intervalle de confiance [2.5 %, 97.5 %]. *p* = p-valeur. ****p* ≤ .001.

⁷ Comme des effets de bloc ont été observés dans les tâches précédentes, un second modèle incluant la variable *bloc* a été réalisé. Il comprend la proportion de temps de regard comme variable dépendante, la grammaticalité (essais grammaticaux vs non grammaticaux), la condition morphosyntaxique (singulier vs pluriel vs passé composé vs futur périphrastique) et le bloc (blocs en variable continue) comme effets fixes, ainsi que l'interaction de la grammaticalité, de la condition morphosyntaxique et du bloc, et la variable participant comme effet aléatoire (formule R : glmmTMB(gaze_prop ~ cond_gram*cond_notion*block + (1 | subject), data = data_DNA2, family = beta_family(link = "logit")). L'effet principal du bloc est significatif ($\beta = -0.77$, $SE = 0.34$, $z = -2.26$, $p = .024$). En revanche, aucune interaction impliquant le bloc avec la grammaticalité et la condition morphosyntaxique n'atteint le seuil de significativité (la plus petite valeur de *p* observée pour ces interactions est de .105). Des analyses exploratoires comparant les temps de regard en fonction de la grammaticalité ont également été réalisées pour chaque condition morphosyntaxique, à l'aide de tests de rangs signés de Wilcoxon. Aucune comparaison n'était significative.

3.4. Discussion

3.4.1. Absence d'effet de grammaticalité

Les résultats obtenus dans l'ensemble des tâches ne révèlent pas d'effet de grammaticalité : les enfants n'ont pas montré qu'ils ont différencié les séquences grammaticales et non grammaticales, que ce soit pour les dépendances adjacentes (DA) ou non adjacentes (DNA), en langage artificiel comme en langue maternelle, à 18 et à 27 mois. Seule la trajectoire interne de la tâche DNA-27m — marquée par une diminution sélective des temps de regard pour les items non grammaticaux dans le second bloc — évoque un apprentissage émergent.

Toutefois, un effet significatif courant est observé pour l'ensemble des tâches : la baisse progressive des temps de regard au cours de la tâche. Ce résultat peut refléter une fatigue attentionnelle ou un désengagement progressif au fil du temps, processus observés dans les paradigmes de regard chez les jeunes enfants (par ex., Colombo & Mitchell, 2009 ; Johansson et al., 2015).

Cette absence d'effet de grammaticalité contraste avec les travaux montrant une sensibilité précoce aux probabilités transitionnelles chez les nourrissons (Aslin et al., 1998 ; Johnson & Jusczyk, 2001 ; Saffran, Aslin et al., 1996), ainsi qu'avec des études montrant que les nourrissons, les enfants, les adolescents (Evans et al., 2009) et les adultes (Saffran, Newport et al., 1996) exploitent ce type de régularités dans d'autres conditions expérimentales. Elle contraste également avec des études ayant observé une sensibilité aux DNA en langage artificiel chez les jeunes enfants (Gómez, 2002 ; Kerkhoff et al., 2013), ainsi qu'avec des travaux montrant une sensibilité à certaines formes de dépendances morphosyntaxiques en français dès 14–24 mois (Culbertson et al., 2016 ; Nazzi et al., 2011 ; van Heugten & Shi, 2010).

Cependant, ces études reposent sur des stimuli et/ou des méthodologies différentes avec des jeunes enfants d'âges légèrement différents. Nous relevons, notamment, que la tâche DNAfr-27m comportait 4 conditions (vs 2 pour les autres études). Les performances observées ici s'inscrivent ainsi dans une littérature soulignant le rôle déterminant du type de stimuli et des contraintes méthodologiques dans la détection de régularités statistiques au moyen de paradigmes comportementaux (Arnon, 2020 ; Isbilen & Christiansen, 2022).

Le modèle développemental attentionnel de préférence de Hunter et Ames (1988) offre une piste d'interprétation pour ces résultats. Si une absence de préférence peut signifier une absence d'apprentissage, elle peut aussi correspondre à une phase transitoire entre un apprentissage en cours (préférence pour la familiarité) et une représentation plus consolidée (préférence pour la nouveauté), y compris lors de transitions de représentations de surface vers

des représentations plus abstraites, comme suggéré dans d'autres études portant sur les DNA (Culbertson et al., 2016). Les alternances de préférence observées chez les enfants francophones dans l'apprentissage des DNA morphosyntaxiques (Culbertson et al., 2016) illustrent la possibilité de telles fluctuations et suggèrent même la présence de plusieurs cycles avec alternance d'effets de familiarité et de nouveauté pouvant refléter le passage de représentations de surface à des représentations plus abstraites.

Cependant, ces effets ont été observés dans des conditions expérimentales spécifiques. Dans leur étude, Culbertson et al. (2016) examinent des dépendances entre le déterminant du groupe nominal et le pronom sujet redondant (p. ex. *le garçon il-arrive vs les garçons ils-arrivent*). Ils rapportent des alternances systématiques de préférences selon l'âge, avec un effet de nouveauté à 15, 18 et 24 mois, un effet de familiarité à 14 et 21 mois, et une absence d'effet à 20 mois. Il est à noter que les groupes d'âge ont été constitués a posteriori au cours des analyses, ce qui invite à interpréter ces variations avec prudence, dans un contexte où les données disponibles restent encore limitées. Les auteurs interprètent ces variations comme reflétant des stades distincts dans l'acquisition de ces dépendances.

Plusieurs différences importantes avec les tâches du présent chapitre doivent cependant être soulignées. D'une part, les tâches DA-18m, DNA-18m et DNA-27m reposent sur du langage artificiel, contrairement à l'étude de Culbertson et al. (2016). D'autre part, bien que la tâche DNAfr-27m mette également en jeu des stimuli en français, elle porte sur des structures morphosyntaxiques différentes et concerne des enfants légèrement plus âgés. Ces différences limitent la comparabilité directe des résultats et peuvent contribuer à expliquer l'absence d'effet de nouveauté observée ici.

Finalement, les résultats obtenus ici ne permettent pas de mettre en évidence une expression comportementale robuste de la sensibilité aux régularités, sans pour autant exclure la présence d'un apprentissage sous-jacent. Par ailleurs, l'absence d'effet pourrait refléter davantage des contraintes méthodologiques du paradigme employé qu'un manque de sensibilité aux régularités.

3.4.2. Rôle des contraintes méthodologiques

Une première considération concerne la complexité relative des tâches. Bien que les DA soient théoriquement plus simples que les DNA, elles n'ont pas davantage donné lieu à une sensibilité significative. Ce contraste avec la littérature, où les DA sont généralement maîtrisées plus tôt (Erickson & Thiessen, 2015), suggère que ce n'est pas la complexité linguistique des

structures elles-mêmes qui a limité la performance, mais plus probablement les conditions expérimentales communes aux trois tâches.

Plusieurs contraintes méthodologiques, déjà discutées dans l'article intégré au début du chapitre, peuvent en effet avoir réduit la sensibilité des paradigmes. La saillance visuelle des stimuli et le recours à une procédure de fixation centrale ont probablement favorisé un engagement visuel soutenu, avec toutefois l'avantage de réduire ainsi l'attrition, comme le suggèrent les temps de regard élevés sur un nombre important d'essais — notamment en début de session — observés dans nos tâches.

Contrairement aux paradigmes de type HPP, qui utilisent des stimuli visuels minimalistes (lumières clignotantes), notre dispositif reposait sur des stimuli attractifs — dessins animés, personnage animal anthropomorphe, formes dynamiques — connus pour capter efficacement l'attention des jeunes enfants (Atkinson & Braddick, 2013 ; Snyder & Mares, 2021). Ce type de sollicitation visuelle pourrait avoir réduit la disponibilité cognitive pour le traitement des régularités auditives.

Cette hypothèse doit toutefois être nuancée, car des travaux sur la dominance auditive suggèrent que les jeunes enfants privilégient l'information auditive même face à des stimuli visuels saillants (Mueller et al., 2019 ; Robinson & Sloutsky, 2019). Il est donc plus probable que ce soit la combinaison d'une familiarisation brève et d'un environnement visuel riche — plutôt que la seule saillance visuelle — qui ait rendu la tâche plus exigeante. Dans le cadre du modèle de Hunter et Ames (1988), une telle complexification peut empêcher l'expression comportementale d'un apprentissage émergent, ce qui pourrait rendre compte de l'absence de préférence à 18 mois et de la tendance tardive vers une préférence grammaticale à 27 mois.

Nos tâches utilisaient une phase de familiarisation avec un temps et un nombre d'expositions fixes, identiques pour tous les enfants. Des études soulignent que des procédures d'habituation contrôlées par l'enfant peuvent être plus sensibles pour révéler une sensibilité à des différences fines entre stimuli (p. ex. Sundara et al., 2018). Notre paradigme de familiarisation peut ne pas avoir fourni des conditions optimales pour permettre l'expression d'un apprentissage.

Une piste de réflexion complémentaire concerne la distribution des éléments intermédiaires entre la familiarisation et le test. Alors que la familiarisation reposait sur une forte variabilité des éléments X (2 occurrences sur 96 items), la phase test introduisait une répétition accrue d'un sous-ensemble de ces éléments (8 occurrences sur 48). Cette répétition pourrait avoir renforcé la familiarité de certains exemplaires au cours du test, contribuant à

l'émergence tardive d'un effet de familiarité au second bloc. Dans cette perspective, l'effet observé lors de la tâche DNA-27m ne refléterait pas nécessairement une extraction consolidée des DNA, mais plutôt un apprentissage encore fragile, possiblement fondé sur la mémorisation d'exemplaires ou de configurations spécifiques. Cette interprétation reste compatible avec une conception selon laquelle les régularités acquises dépendent étroitement de la structure distributionnelle de l'input (Gómez, 2002 ; Perruchet & Pacton, 2006).

Un autre point mérite également d'être mentionné concernant les tâches d'apprentissage en langage artificiel. Le protocole incluait des pauses brèves entre les non-mots et les séquences, choix visant à assurer une homogénéité entre les différentes conditions et aligné avec certains paradigmes existants (Gómez, 2002). Ce type de segmentation est généralement considéré comme favorisant un encodage des séquences en unités discrètes, par opposition aux paradigmes en flux continu où les relations locales entre éléments successifs jouent un rôle plus important (Peña et al., 2002 ; Saffran, Aslin et al., 1996).

Dans ce contexte, l'absence d'effet de grammaticalité observée ne peut être directement attribuée à la présence de ces pauses, mais ouvre une autre piste d'interprétation concernant la nature des représentations acquises. Les enfants pourraient avoir été sensibles à la familiarité des séquences ou à certaines co-occurrences entre éléments, sans pour autant isoler la relation positionnelle entre éléments distants (Perruchet & Pacton, 2006). Un tel mode d'encodage devrait toutefois favoriser l'apprentissage des DA, dans lesquelles les éléments pertinents sont contigus et directement disponibles, plutôt que celui des DNA, où la relation cible doit être extraite à travers un élément intermédiaire. Dans cette perspective, il est possible que l'absence d'effet observée pour les DNA reflète un décalage entre la structure des relations à apprendre et le type d'informations effectivement exploitées par les enfants, ces derniers ayant pu privilégier des régularités plus locales. Cette interprétation reste néanmoins spéculative en l'absence d'évaluation directe de la nature des représentations acquises et doit être nuancée par le fait qu'elle prédirait plutôt un avantage pour les dépendances adjacentes, qui n'est pas observé ici.

Un autre facteur potentiellement limitant concerne l'organisation des sessions expérimentales. Deux tâches étaient administrées à chaque session, à quelques minutes d'intervalle, avec des procédures et des stimuli proches. Ce type de configuration expose les participants à des effets d'ordre (*order effects*), notamment des effets de fatigue ou de désengagement progressif, ainsi qu'à des effets de contexte (ou de contraste) entre tâches (*carry-over effects*), dans lesquels les stratégies développées lors d'une première tâche peuvent

influencer le traitement de la suivante (Jhangiani et al., 2019). Dans notre étude, cette contamination potentielle est particulièrement préoccupante dans la mesure où les tâches sont relativement similaires — ce qui pourrait brouiller la sensibilité des enfants à ces régularités ou générer des attentes qui ne correspondent pas aux stimuli de la tâche suivante.

La diminution des temps de regard observée en fonction de la position des tâches dans la session pourrait d'ailleurs refléter un tel désengagement progressif, plutôt qu'un effet propre aux stimuli.

Des analyses exploratoires, non reportées dans les analyses principales, ont permis d'examiner l'effet de l'ordre de présentation des tâches sur les temps de regard. Aucune interaction significative entre grammaticalité des stimuli et ordre de présentation des tâches n'a été observée. Un effet significatif de l'ordre sur les temps de regard globaux a toutefois été identifié dans la tâche DA-18m, reflétant très probablement plutôt un effet de fatigue ou de désengagement au cours de la session, en cohérence avec la diminution du temps de regard observée au fil des tâches.

Ces analyses ne mettent donc pas en évidence d'influence de l'ordre de présentation sur les effets de préférence. Néanmoins, ces résultats doivent être interprétés avec prudence, en particulier en l'absence d'effets de préférence significatifs dans les tâches considérées.

Dans cette perspective, administrer une seule tâche par session — selon un protocole inter-sujets plutôt qu'intra-sujets — est recommandé afin de s'affranchir de ces effets et d'isoler plus rigoureusement la contribution de chaque paradigme. Toutefois, dans une perspective de design longitudinal, administrer une seule tâche par séance suffisamment espacée pourrait constituer un compromis permettant de limiter ces risques.

Une variabilité interindividuelle importante s'ajoute à ces facteurs. Elle se manifeste par l'amplitude des temps de regard, la dispersion des indices individuels de sensibilité et l'hétérogénéité des directions de préférence. Cette variabilité, caractéristique des paradigmes de regard chez le tout-petit, réduit la probabilité de mettre en évidence un effet de groupe.

3.4.3. Implications méthodologiques et perspectives

Ces constats suggèrent plusieurs directions possibles pour accroître la sensibilité des paradigmes d'AS chez les jeunes enfants. Une première piste consiste à réduire la saillance visuelle des stimuli afin de limiter son interférence et de favoriser une meilleure allocation attentionnelle au canal auditif. Il serait également possible d'utiliser les mêmes stimuli visuels pour la familiarisation et la phase test.

Une seconde piste consiste à allonger la familiarisation ou à recourir à des procédures adaptatives fondées sur l'habituation, particulièrement indiquées dans les tâches complexes.

Dans cette perspective, des essais de modification de la phase test pourraient également être réalisés avec des essais plus longs et/ou plus nombreux. Les pistes méthodologiques proposées par Houston et al. (2007) pourraient également contribuer à améliorer la sensibilité des tâches, notamment par des manipulations des essais en jouant sur la rareté des stimuli nouveaux et leur rythme d'alternance, conçues pour accroître la détectabilité des différences par les enfants et stabiliser les mesures individuelles de sensibilité. Il serait également possible d'augmenter la variabilité des éléments intermédiaires dans la phase de familiarisation (Gómez, 2002), mais aussi dans la phase test, où la répétition des items peut avoir influé sur l'apprentissage.

Il pourrait également être pertinent d'augmenter le nombre d'essais (bien que cette option soit controversée, cf. Isbilen & Christiansen, 2022) ou encore d'explorer les mêmes stimuli avec d'autres procédures (p. ex. HPP, cf. Junge et al., 2020) susceptibles d'améliorer la sensibilité aux variations fines.

3.4.4. Conclusion

Pris ensemble, ces éléments suggèrent que l'absence d'effets significatifs nets dans les trois tâches ne reflète pas nécessairement une absence de sensibilité aux régularités adjacentes et non adjacentes, mais plutôt les limites méthodologiques des paradigmes utilisés pour capter des apprentissages émergents à ces âges. Les signaux faibles observés — à travers la dynamique interne de DNA-27m — plaident en faveur d'une sensibilité présente mais difficile à détecter dans les conditions actuelles. Ces résultats invitent à concevoir des paradigmes plus sensibles et mieux adaptés aux contraintes attentionnelles et perceptives du jeune enfant.

Les résultats présentés dans ce chapitre se concentrent sur les performances aux tâches de sensibilité. Les analyses corrélationnelles transversales entre tâches, ainsi qu'entre ces tâches et les données langagières au même âge, sont examinées conjointement aux analyses longitudinales dans le chapitre 5, afin de proposer une lecture intégrée des relations entre AS et développement du langage.

3.6. Conclusion

Ce chapitre a examiné la sensibilité de jeunes enfants francophones aux DA et aux DNA en langage artificiel et en langue naturelle. Les résultats ne mettent pas en évidence de différenciation comportementale nette entre items grammaticaux et non grammaticaux aux âges considérés.

Cette absence d'effet observable invite à une interprétation prudente : elle peut refléter les limites des paradigmes utilisés plutôt qu'une absence d'apprentissage, et souligne la difficulté à capter expérimentalement des mécanismes encore en cours de structuration à ces âges.

Le chapitre suivant aborde de manière complémentaire les compétences morphosyntaxiques, en examinant la compréhension et la production de morphèmes du français à 40 mois. Ces données, mises en relation avec les mesures d'AS ainsi qu'avec d'autres mesures, permettront d'examiner les liens entre sensibilité aux régularités et développement langagier. Ces relations seront analysées de manière détaillée dans le chapitre 5, à travers des analyses transversales et longitudinales.

4. Compréhension et production de morphèmes en français

4.1. Introduction

Ce chapitre s'intéresse au développement morphosyntaxique des jeunes enfants francophones, à travers l'étude de la compréhension et de la production de morphèmes verbaux impliquant des dépendances non adjacentes (DNA). Il rapporte et discute les données de la troisième et dernière phase de l'étude longitudinale de cette thèse. Dans ce cadre, il poursuit l'objectif général d'explorer la manière dont les mécanismes d'apprentissage statistique (AS), susceptibles de soutenir la détection et le traitement des DNA dans l'input linguistique, peuvent interagir avec le développement morphosyntaxique. Il s'inscrit ainsi dans une perspective selon laquelle la capacité à détecter et à traiter les DNA dans l'input linguistique pourrait soutenir l'acquisition de structures morphosyntaxiques apparentées.

Alors que le chapitre précédent portait principalement sur des mesures perceptives de sensibilité à des dépendances en contexte de langage artificiel et naturel, le présent chapitre s'intéresse à la mobilisation de DNA dans l'usage linguistique, au moyen de tâches de compréhension et de production qui sollicitent conjointement plusieurs composantes du traitement linguistique. Il s'agit en effet d'examiner, à 40 mois, la maîtrise morphosyntaxique émergente sur les versants réceptifs et expressifs au moyen de deux tâches expérimentales évaluant la compréhension (pointage) et la production (élicitation) de l'accord en nombre (troisièmes personnes du singulier et du pluriel du présent de l'indicatif) et des flexions de deux temps composés (passé composé et futur périphrastique).

Les structures syntaxiques étudiées reposent sur des DNA et constituent un terrain privilégié pour explorer les liens entre AS et morphosyntaxe en français. Ayant été utilisées dans la tâche de DNA en langage naturel, leur réinvestissement dans les tâches de compréhension et de production permet d'assurer une continuité conceptuelle et méthodologique entre les différentes phases de l'étude, tout en offrant des données complémentaires sur l'acquisition de ces structures à un âge où elles sont en cours de consolidation.

Les deux tâches présentées ici visent à documenter la compréhension et la production des morphèmes verbaux étudiés chez les enfants de 40 mois. Leur mise en relation avec des mesures standardisées du développement morphosyntaxique recueillies au même âge permet

d'en examiner la validité et de situer les performances observées dans le cadre plus large du développement morphosyntaxique.

Le chapitre est organisé autour d'un article de recherche qui présente le cadre théorique, la méthodologie, les résultats des tâches de compréhension et de production, ainsi que la discussion générale. Le chapitre se conclut par une synthèse visant à mettre en perspective les apports de ces résultats dans le cadre plus large du projet de thèse et à préparer l'exploration des relations longitudinales entre AS précoce et développement morphosyntaxique, développée au chapitre suivant.

4.2. Compréhension et production de dépendances non adjacentes en français : accord en nombre et flexion verbale – Article de recherche

État : Soumission le 08.05.2026 auprès de Journal of Child Language

Bodard, J., Nazzi, T., and Skoruppa K.

Comprehension and Production of Number and Tense in Verbs by French-Learning Three-years-olds

Comprehension and Production of Number and Tense in Verbs by French-Learning Three-year-olds

Julie BODARD^a, Thierry NAZZI^b and Katrin SKORUPPA^a

^a Institut des Sciences Logopédiques, Maison des Sciences du Langage et de la Communication
– Université de Neuchâtel, Neuchâtel, Switzerland

^b Integrative Neuroscience and Cognition Center, CNRS – Université Paris Cité, Paris, France

Correspondence

Correspondence to Julie Bodard: julie.bodard@unine.ch

Disclosure

Competing interests: The authors declare none.

Key Words

Morphosyntactic development, Subject-verb agreement, Tense marking, Error patterns, French.

Abstract

This study investigated the acquisition of two non-adjacent morphosyntactic dependencies—number agreement and compound tense inflections—in French-speaking children aged 3;4 years. Third-person singular and plural agreement in the present tense, as well as past and future compound forms, were assessed in comprehension (pointing task, $n=30$) and production (elicitation task, $n = 27$). In comprehension, children performed above chance for number agreement and past tense, with no singular–plural difference, but showed weaker performance for future tense. In production, accuracy was limited: singular forms were produced more accurately than plural, while tense marking was low and did not differ between past and future. Error analyses revealed frequent infinitive substitutions and systematic patterns across conditions. Performance was related to independent measures of morphosyntactic development. Despite methodological challenges inherent to explicit tasks with young children, these findings highlight uneven, gradual morphosyntactic development.

Introduction

Morphosyntactic development is a core aspect of language acquisition, involving children's ability to combine words into increasingly elaborate structures and to master grammatical relations through morphological markers, often born by verbs. Acquiring morphosyntax thus involves learning complex relational systems, including non-adjacent dependencies such as subject–verb (SV) agreement (in number: e.g., *The duck***Ø** *swims* versus *The ducks swim***Ø**; Johnson et al., 2005). Their emergence, especially in English, has sparked longstanding theoretical debates on language acquisition (for an overview, see Valian, 2009) and they have been discussed as important markers in both typical and atypical development (e.g., Moyle et al., 2007; Rice et al., 1998).

Although such ‘distant’ morphosyntactic relationships are highly relevant to morphosyntactic development, cross-linguistic evidence concerning their acquisition trajectory remains uneven. Much research has focused on English (Kidd & Garcia, 2022), while morphosyntactic relationships complexity varies by language typology and morphological richness. In that regard, English has limited inflectional morphology (Estivalet & Meunier, 2020), while other languages, for instance Czech (Smolík & Bláhová, 2022) or Greek (Kenanidis et al., 2021) are highly inflected. Previous cross-linguistic findings reveal substantial variation in morphosyntactic acquisition across languages (e.g., Legendre et al., 2014), individuals (e.g., Bassano et al., 2020), and methodologies (Stoll, 2015), with contradictory results, calling for more quantitative developmental data.

French is a moderately rich language, marking tense, mood, person, number, and gender through verbal inflection (Estivalet & Meunier, 2020). Interestingly, particularly in spoken language, its verbal system uses multiple forms for the same morphosyntactic function, with homophonous endings complicating acquisition. For instance, verbal plural third person marking in present tense, can be audible on: (a) the determiner alone (*les chiens mangent*), (b) on determiner + suffixal verb inflection (*les chiens dorment*), (c) suffixal verb inflection alone (*ils dorment*), (d) phonological fusion with preceding pronoun alone (*ils _arrivent*) or (e) together with audible verb inflection (*ils _atterrissent*). Such phenomena invite further explorations. Available French developmental norms often rely on small toddler samples, parental questionnaires (e.g., Bassano, 2000), or standardised clinical assessments testing only one or two items per structure (e.g., EXAlang 3-6, Helloin & Thibault, 2006).

In particular, to our knowledge, no study has examined French-speaking young children's acquisition of two important non-adjacent dependencies—number agreement and tense inflection—across both production and comprehension within the same sample, using multiple repeated items per structure. While standardised language assessments do sample different grammatical structures across tasks, they typically rely on a limited number of items per structure and are not designed to provide a detailed comparison of specific dependencies across modalities. The current study addresses this gap by investigating SV agreement in third-person singular (3SG) and plural (3PL) present, and tense marking in past and future. In the following, we will outline key features of early morphosyntactic acquisition, zooming in on cross-linguistic findings on the development of number agreement and tense inflection, presents the French verbal system and reviews its acquisition in production and comprehension, leading to the present study.

Early acquisition of Morphosyntax

Basic sensitivity to morphosyntactic regularities emerges very early, already between 1;0 and 1;6 years: Head-turn preference studies reveal that English-learning infants as young as 1;4–1;6 years can detect non-adjacent dependencies between auxiliaries and verb forms (e.g., *is baking* vs. ungrammatical *can baking*; Santelmann & Jusczyk, 1998). This early sensitivity likely relies on distributional surface cues rather than fully abstract representations. Between 1;6 and 2;6 years, children begin producing first word combinations, often omitting function words and morphemes (Brown, 1973; Van Horne, 2019). Gradually, their speech becomes more grammatically consistent, with rising accuracy in subject–verb (SV) agreement and tense marking. The third year marks a turning point, as children progress from lexically specific patterns to more abstract morphosyntactic representations (Brown, 1973; Tomasello, 2003). By age four, most produce a wide range of core grammatical constructions and begin using consistently more complex syntax (Ud Deen, 2017), such as non-finite complement clauses, relative clauses, and adverbial clauses (Diessel, 2004). However, full comprehension of certain morphosyntactic structures, as evidenced in reliable picture-pointing tasks, is typically documented only later—around age five for some English forms (e.g., such singular third person agreement in present; (Johnson et al., 2005). Overall, according to constructivist, usage-based and emergentist approaches acquisition thus proceeds gradually from early item-based patterns towards robust, generalisable morphosyntactic representations (Stoll, 2015; Tomasello, 2003).

Cross-linguistic Evidence. Comparative research reveals both commonalities and differences between languages in morphosyntactic acquisition (Ud Deen, 2017). As summarised by Ud Deen (2017), children acquiring diverse languages typically master core inflectional morphemes rapidly and with high accuracy by about age 4;0 years, showing similar error patterns across languages (e.g., overregularisation of irregular forms, like *sleeped* instead of *slept*). Suffixes tend to be acquired earlier and more accurately than prefixes (Ud Deen, 2017). However, the pace and trajectory of acquisition differ with typological factors such as phonological salience, morphological complexity and syntactic function. Children learning morphologically richer or agglutinative languages—such as Italian, Turkish, or Swahili—often acquire inflectional forms earlier and more consistently than peers learning sparsely inflected languages like English (Ud Deen, 2017). As de Villiers and de Villiers (1973) already noted, no single grammatical, semantic, or perceptual factor fully explains morphosyntactic acquisition; rather, these dimensions interact to shape development. This supports a dynamic view of tense development shaped by morphology, semantics, input frequency, and language typology (Ud Deen, 2017).

Methodological Considerations. Differences in reported ages of acquisition may also reflect methodological variation and methodological advances in the field. Early benchmarks largely relied on longitudinal case studies of spontaneous speech: Brown’s (1973) famous stages of morphosyntactic development for instance, are based on only three English-speaking children; and Bassano (2000), who followed a single French-speaking child. While these data provide rich detail, they do not account for interindividual variability. Furthermore, using somewhat arbitrary cut-offs (e.g., > 90% correct production, following Brown) to assume ‘mastery’ (Ud Deen, 2017) may underestimate gradual, emerging use. Finally, (Snyder, 2011) argues this underestimation is a more general problem of spontaneous speech analyses because of grammatical conservatism, whereby children avoid producing structures they are not fully confident about.

Elicited production and comprehension tasks provide complementary insights, while introducing new challenges. Task demands, cognitive load (e.g., Kolberg et al., 2025; Legendre et al., 2010), and children’s willingness to produce certain forms can all influence outcomes. For instance, Castilla-Earls et al. (2021) found that Spanish-speaking children aged 5;0 years performed better in spontaneous speech than in elicited tasks. However, Rice et al. (1998) reported consistent results across both types of tasks using growth curve analyses for morphemes like 3SG *-s* and past *-ed*. Rice & Wexler (1996) report consistent 3SG SV

agreement production around 5;0 years in both spontaneous and elicited speech, but lower and more variable performance around age three, especially in elicitation—suggesting later acquisition than Brown’s (1973) spontaneous benchmarks.

More recently, larger-sample studies used parental questionnaires, some of which include detailed questions on grammar production (e.g., MacArthur-Bates CDI: Marchman et al., 2023; French DLPF: Bassano et al., 2020). However, these often rely on broad response categories (e.g., frequency scales *never* / *rarely* / *often* for morphosyntactic structures production), limiting precision. Additional variability stems from differing criteria for determining consistent agreement, which can range from qualitative ratings (e.g., “a few times”) to different quantitative thresholds (e.g., produced by 50% of children or $\geq 90\%$ of correct items; see Ud Deen, 2017).

Together, these findings depict morphosyntactic acquisition as a gradual, multi-layered process shaped by cognitive growth, input properties, and language typology, while underscoring how measurement methods impact observed outcomes.

Error Patterns. Although toddlers show early sensitivity to their language’s inflectional system, their speech is not error-free. Research on verb morphology acquisition shows that many errors are systematic and can reveal underlying learning processes. As outlined by Ud Deen’s (2018), the two main types are omission errors, where obligatory morphemes are absent (e.g., *she go*), and substitution errors (named commission errors in Ud Deen, 2017), involving the inappropriate use of a morpheme (e.g., *I loves*).

A notable subtype of substitution errors is overregularisation (e.g., *foots*, *goed*), reflecting the use of regular morphological markers instead of irregular forms and typically following a U-shaped developmental trajectory (high–low–high accuracy). In English, omission errors are considered frequent, while substitution errors appear rare. However, English verb morphology sometimes makes it unclear whether an apparent omission reflects an uninflected stem or substitution of a finite form. In contrast, languages with distinct infinitive and finite forms, along with clearer positional cues, suggest that substitutions are also common (Paradis & Crago, 2001).

In many languages, children often produce infinitival verbs in main clauses (e.g., *me go*), which would be ungrammatical in adult language (Ud Deen, 2017). Crucially, these infinitives occur in syntactically appropriate positions for main verbs, indicating grammatical knowledge rather than random omission of inflections. Children may rely on different ‘default’ forms, that we define here as the simplest, most frequent, or unmarked forms (i.e. those lacking

verbal inflection), based on distributed-morphology framework (Halle & Marantz, 2004). In French, the verb stem, the past participle, and the infinitive can be considered as ‘default’ forms (Paradis & Crago, 2001): for instance, /ekut/ (*écoute-s·ent*) can surface as the default form for several present indicative and imperative verb forms.

Acquisition of Number Agreement and Tense Inflections

Among the many morphosyntactic features children have to master, number agreement and tense marking are especially revealing. They are frequent, involve non-adjacent dependencies in many languages, which vary cross-linguistically, and pose perceptual as well as processing challenges.

Acquisition of number agreement: Asymmetries and Cross-linguistic Variation. A comparatively well-studied domain in morphosyntactic acquisition is the comprehension of 3SG and 3PL SV agreement in the present tense—a contrast found in many languages, including English (Johnson et al., 2005). This contrast has been subject to an interesting theoretical debate around later emergence of comprehension than of production, and an asymmetrical pattern, with plural forms understood earlier than singular ones. Children often produce third-person SV agreement early—between 2;3 and 3;10 years in English (Brown, 1973; de Villiers & de Villiers, 1973), and as early as 2;0 years in Italian (Pizzuto & Caselli, 1992)—yet full comprehension appears later in pointing tasks (ages 4;0–6;0 years in German, Xhosa, English, Spanish ; see Brandt-Kobele & Höhle, 2010; Gxilishe et al., 2009; Johnson et al., 2005; Pérez-Leroux, 2005). More recent studies, however, using low-demand methods such as Intermodal Preferential Looking Paradigm (IPLP; Gavarró & Keidel, 2024), report earlier comprehension in some languages, emerging between 2;6 and 3;6 years (French: Barrière et al., 2016; Legendre et al., 2010; Spanish: Gavarró & Keidel, 2024; Gonzalez-Gomez et al., 2017; Hsin et al., 2022; Greek: Kenanidis et al., 2021; Czech: Smolík & Bláhová, 2022), and even as early as 1;7 years in Spanish Gavarró & Keidel, 2024. To estimate children’s comprehension, most of these studies test whether accuracy scores significantly differ from chance. Across this literature, asymmetries are sometimes reported: overtly marked forms are then commonly better understood than unmarked ones (e.g., 3PL > 3SG in French and Spanish, Ågren & Van De Weijer, 2013; Hsin et al., 2022; 3SG > 3PL in English, Johnson et al., 2005; Legendre et al., 2014), while production often shows the reverse in acquisition order (e.g., 3SG > 3PL in French, Ågren & Van De Weijer, 2013; Bassano et al., 2020; 3PL > 3SG in English, Brown, 1973; De Villiers & De Villiers, 1973). Conversely, Hsin et al. (2022) found positive

correlations between production and comprehension of number agreement in Spanish learners at 3;6 years.

Such differences across studies have generally been attributed to typological (salience, reliability and position of grammatical markers), methodological and pragmatic factors. First, with respect to typology, earlier comprehension is reported in languages with salient and reliable markers (e.g., French /z-/ , Greek /-un/) compared to less salient and reliable ones (e.g., English /-s/, Spanish /-n/; Kenanidis et al., 2021; Legendre et al., 2010). Prefixal agreement markers in French (liaison between pronoun and verb onset) may also facilitate processing by appearing early in the utterance (e.g., *il_embrasse* versus *ils_embrassent*; Legendre et al., 2010). Interestingly, input frequency does not explain these patterns, as plural forms are often better understood despite dominance of singular forms in the input (Kenanidis et al., 2021). Second, with respect to methodology, tasks using dynamic visual stimuli (e.g., videos) and low processing demands (e.g., preferential looking) tend to reveal earlier comprehension than more demanding forced-choice tasks (Gavarró & Keidel, 2024; Legendre et al., 2010). Where accuracy scores may not capture grammatical knowledge completely due to response biases, such as a general preference for plural referents (Barrière et al., 2016; Hsin et al., 2022; Johnson et al., 2005), sensitivity-based measures, that also take into account potential preference bias, may provide more fine-grained results. Third, on the pragmatic level, asymmetries between singular and plural comprehension may stem from referential ambiguity rather than grammatical difficulties. Errors with singular forms could reflect an incomplete understanding that they denote a single, contextually salient referent, especially when multiple plausible or visually salient candidates are present (Gavarró & Keidel, 2024). Hence, the late observation of number agreement comprehension in some studies (Brandt-Kobeke & Höhle, 2010; Gxilishe et al., 2009; Johnson et al., 2005; Pérez-Leroux, 2005) does not necessarily reflect a lack of syntactic competence, but most likely arises from interacting linguistic (markers characteristics, methodological (e.g., task type), and pragmatic (e.g., scene interpretation) influences.

Finally, links between the acquisition of number agreement, as revealed in highly specific experiments, and broader language skills remain underexplored. To date, only some correlations have been observed with scores obtained in parental questionnaires on language development (Marchman et al., 2023) for toddlers under 3;0 years, particularly with the number of verbs reportedly understood (Legendre et al., 2010; Lukyanenko & Fisher, 2016).

Acquisition of Tense Inflections. Compared with number agreement, research on the acquisition of past and future tense remains limited, despite these being among the earliest

forms toddlers use to express temporality (Bassano et al., 2020). Tense inflections emerge at different ages across languages depending on morphosyntactic features, though some robust patterns exist—such as the earlier emergence of past over future tense (Szagun, 1978). This is likely because future tense requires more complex projection in mental representations (Bassano et al., 2004). In production, English-learning toddlers typically acquire past tense with regular *-ed* and some irregular verbs (e.g., *went*) around age 2;6 to 3;0 years (Brown, 1973). By age four, past tense use becomes more accurate and flexible, especially in narrative contexts. Future tense usually appears between ages three and four, initially via temporal adverbs (*soon*, *later*), followed by modal constructions (*gonna*, *will*), as children's ability to represent and plan future events develops. Mastery (if defined as 90% correct use in obligatory contexts; Brown, 1973; Ud Deen, 2017) typically occurs between ages 5;0 and 7;0 years (Harner, 1981) in English. In contrast, toddlers acquiring morphologically rich languages like Italian (Guasti, 1993), Spanish (Mueller Gathercole et al., 1999), Polish (Smoczyńska & Slobin, 1985), or Turkish (Aksu-Koç, 1988) produce past and future forms as early as 1;6 to 2;0 years.

In comprehension, Harner (1980) found that English-learning three-year-olds had more difficulties understanding future than past tense in a pointing task, showing gradual improvement, but no mastery, up to age 7;0 years. Conversely, Valian (2006) showed toddlers aged 2;0 to 3;0 years could distinguish past and future, likely due to differences in task design. In Harner's task, toddlers viewed three-step picture sequences (e.g., a mailman first holding a letter, then posting it, finally walking away) and had to identify the image matching a past or future action ('Show me : the mailman will put/has put *the* letter in the box'). This required decentring from one's immediate personal perspective. In Valian's study, toddlers experienced the actions directly (e.g., one toy duck being fed, another not) and were asked to indicate which duck *did* or *will* drink, making temporal distinctions self-centred. Similarly, using the less challenging preferential looking methodology, Wagner et al. (2009) showed that toddlers aged 2;0 to 3;0 years could distinguish past/perfective (*-ed*) from present/imperfective (*is V-ing*) forms with familiar verbs, suggesting that toddlers can interpret morphology and map verb forms to corresponding event types.

Acquisition of Number Agreement and Tense Inflections in French

Before focusing on the acquisition in comprehension and production of subject-verb agreement in the 3SG and 3PL forms, and of compound tenses for past (*passé composé*) and future (periphrastic future with *aller*), we will offer a brief overview of the French verbal inflection system.

Overview of the French Verbal Inflection System. French verbs are traditionally classified into three conjugation groups (for a detailed description, see, for instance, Prévost, 2009) : First-group verbs (infinitive ending in *-er* /e/; e.g., *aimer* ‘to love’) are highly regular and use a single stem across the whole conjugation system (e.g., *aim-*: *j’aime*, *nous aimons*, *il aimait*, *elle aimera*), forming the largest verb class in French (approx. 4,000 verbs, but it should be noted that estimates of the number of verbs in each group vary across sources). The highly frequent verb *aller* (‘to go’) represents the only irregular exception (e.g., *elle va*, *nous allons*, *ils vont*, *il allait*, *elle ira*). Second-group verbs (most verbs with infinitive ending in *-ir* /iʁ/) are also regular, but show stem allomorphy in plural forms (with /-s-/, e.g., *finir* ‘to finish’: *je finis*, *nous finissons*, *ils finissent*). Importantly, not all *-ir* verbs belong to this regular class: many are irregular and are classified within the third group (e.g., *partir* ‘to leave’: *je pars*, *nous partons*, *ils partent*). All other verbs form a loose third-group, with infinitives ending in *-re*, *-dre*, and *-oir(e)*, and are irregular, involving multiple stems (e.g., *faire* ‘to do’: *il fait*, *ils font*; *prendre* ‘to take’: *il prend*, *ils prennent*; *vouloir* ‘to want’: *il veut*, *ils veulent*).

Despite their smaller number, irregular verbs appear to occur more frequently in child speech (representing 58% of the verb produced by two-year-old in one corpora, compared to 36% and 11% for first- and second-group verbs, respectively), while representing 18% of verb types (versus 76% and 6%; Marquis et al., 2012). These data thus suggest a dissociation between type and token frequency: although first-group verbs constitute the vast majority of verb types (around 90%), irregular verbs, despite being fewer in number, account for a large proportion of occurrences in spontaneous speech (Marquis et al., 2012). However, as this observation is based on a limited dataset, further evidence is needed to confirm this pattern, in French toddlers’ input and productions.

Two additional features of the French verb system are noteworthy. First, although many irregular verbs show stem alternation, they typically retain regular endings for person, number, and tense (e.g., *boire* ‘to drink’ → *buvez* /byv-e/ ‘drink.2PL’). Thus, French irregularity differs from English, as it can affect stem and inflection separately (Royle, 2007). Second, as already mentioned above, French includes numerous homophonous forms across tenses and persons. For instance, *je/tu/il donne(s)* (present) and *donne* (imperative) are pronounced /dɔ̃n/, while *donner* (infinitive) and *donné* (past participle) are pronounced /dɔ̃ne/ for first-group verbs.

3SG and 3PL Agreement in French. In French standard grammar, the distinction between 3SG and 3PL can be marked in two main ways. When the subject is a full noun phrase

(as in ex. 1 below), its number is typically conveyed through the determiner only: its definite forms are *le* (masculine singular), *la* (feminine singular), and *les* (plural). Orthographic plural marks on nouns are usually not phonetically realised (e.g., *fille* ‘girl’ and *filles* ‘girls’ are homophonous). When verb forms are also homophonous, as in first-group verbs, there is no further plural marker; the determiner alone provides an audible number cue (1a). In other verb groups, number is often marked by a suffixal verb inflection (1b) or a stem variation (1c).

(1) a. *le chien mange* vs. *les chiens mangent*

/lə.ʃjẽ.mãʒ/ /lə.ʃjẽ.mãʒ/

‘the dog eats’ vs. ‘the dogs eat’

b. *la fille conduit* vs. *les filles conduisent*

/la.fi(j).kõdqi/ /lə.fi(j).kõdqiʒ/

‘the girl drives’ vs. ‘the girls drive’

c. *le garçon va* vs. *les garçons vont*

/lə.gaʁsõ.va/ /lə.gaʁsõ.võ/

‘the boy goes’ vs. ‘the boys go’

In French, personal pronouns for 3SG (il-elle /il/-/el/) and 3PL (ils-elles /il/-/el/) are homophonous in the unaccented citation form, which is used in subject position before verbs beginning with consonants (ex. 2 a-b below). Since number is not audible at all for first-group verbs, singular and plural are indistinguishable with personal pronouns (2a). In other verb groups, number may only be audible through suffixal verb inflection (2b). When the verb begins with a vowel (ex. 2 c-d below), phonological fusion (liaison) occurs with preceding pronouns, audibly marking number in the third person: /-l/ for singular and /-z/ for plural. This prefixal agreement may co-occur with an audible verb inflection (2c) or stand alone when verb forms are homophonous (2d).

(2) a. *il mange* vs. *ils mangent*

/i(l).mãʒ/ /i(l).mãʒ/

‘he eats’ vs. ‘they eat’

b. *il prend* vs. *ils prennent*

/i(l).pʁɑ̃/ /i(l).pʁɛ̃n/

‘he takes’ vs. ‘they take’

c. *il atterrit* vs. *ils atterrissent*

/il atɛʁi/ /i(l)z atɛʁis/

‘he lands’ vs. ‘they land’

d. *il arrive* vs. *ils arrivent*

/il aʁiv/ /i(l)z aʁiv/

‘he arrives’ vs. ‘they arrive’

However, this clitic–verb subsystem is infrequent in adult input, with plural forms underrepresented compared to singular ones (Legendre et al., 2010)¹. Finally, it should be noted that in spoken language, the subject noun phrase is often combined with the clitic pronoun, redundantly (e.g., *la fille, elle mange* ‘the girl, she eats’; Legendre et al., 2010).

Acquisition of 3SG and 3PL Agreement in Comprehension. A summary of methodologies and results of studies on comprehension of number agreement in French is presented in Table 1 (below).

In French-learning toddlers, comprehension of 3SG and 3PL SV agreement, specifically in the prefixal liaison subsystem (clitic pronoun + vowel-initial verb), has been observed as early as at 2;6 years, using preferential looking and pointing tasks. Toddlers successfully matched verbal stimuli (e.g., *il embrasse le voube* ‘he kisses the voube’ versus *ils embrassent le voube* ‘they kiss the voube’) to dynamic one- vs. two-agent scenes (Legendre et al., 2010), and similarly with pseudo-verbs (e.g., *Ils arrouvent le mic* ‘they arrouvent the mic’; Barrière et al., 2016). Toddlers even showed sensitivity to the grammaticality of *determiner + clitic pronoun liaison* at 1;2 years (e.g., *le garçon il arrive* ‘the boy he walks’; Culbertson et al., 2016) and *determiner + auxiliary/modal inflection* at 1;5 years (e.g., *la coupile va bientôt conduire* ‘The_{SG/PL} X will_{SG/PL} soon drive’; van Heugten & Shi, 2010). By 1;6–2;0 years, toddlers also showed sensitivity to SV agreement marked through *determiner + suffixal inflection* (*le garçon lit* ‘the boy reads’ versus *les garçons lisent* ‘the boys read’) or *stem alternation* (*le garçon fait* ‘the boy does’ versus *les garçons font* ‘the boys do’), but only with familiar verbs, not pseudo-verbs (Nazzi et al., 2011), suggesting reliance on lexical knowledge. To our knowledge, no studies have examined comprehension of this subsystem between this early sensitivity and age five. At ages 5–7, Ågren & van de Weijer (2013) found an asymmetry in comprehension accuracy: 93% for plural forms versus 72% for singular forms.

Table 1

3SG and 3PL comprehension studies in French

Study	Method	Language	Stimuli Nature	MS Structure	Auditory Stimuli Examples	Visual Stimuli	Age + N	Success*	Positive Correlations
Legendre et al. (2010)	IPLP	French	Verbs	Liaison	3SG: Il embrasse le voubé. 'He kisses the /vub/.' /il _ãbrãs læ vub/ 3PL: Ils embrassent le voubé. 'They kiss the /vub/.' /i(l)z _ãbrãs læ vub/	Videos (2 choices)	2 y. N = 20	No	Only SG trials / MCDI nb verbs understood: Yes
Experiment 1							2;6 y. N = 20	Yes SG = PL	IPLP (3 variables) / MCDI (6 variables): None
Legendre et al. (2010)	Pointing	French	Verbs	Liaison	3SG: Il embrasse le voubé. 'He kisses the /vub/.' /il _ãbrãs læ vub/ 3PL: Ils embrassent le voubé. 'They kiss the /vub/.' /i(l)z _ãbrãs læ vub/	Videos (2 choices)	2;6 y. N = 16	Yes SG = PL	Overall performance / MCDI nb verbs understood: Yes
Experiment 2									SG trials / MCDI nb verbs understood: Yes
Barrière et al. (2016)	Pointing	French	Pseudo-verbs	Liaison	3SG: Il arrouve le mic. 'He /aʁuv/ the /mik/.' /il _aʁuv læ mik/ 3PL: Ils arrouvent le mic. 'They /aʁuv/ the /mik/.' /i(l)z _aʁuv læ mik/	Images (2 choices)	2;6 y. N = 24	Yes SG = PL	Pointing task performances / MCDI: None
Ågren et van de Weijer (2013)	Pointing +production	French	Verbs	Suppletive forms (irregular) Stem alternation (suffixal inflection) Liaison	Suppletive forms: aller 'to go' 3SG: il va /il va/ 3PL: ils vont /il vɔ̃/ Stem alternation: boire 'to drink' il boit /il bwɑ/ ils boivent /il bwav/	Images (4 choices)	5-7 y. N = 16 8-10 y. N = 14	Yes SG < PL Yes SG < PL	N/A

Note. IPLP: Intermodal Preferential Looking Paradigm. SG = Singular. PL = Plural. y. = years. N = number of participants. nb = number; N/A = not available. *Success = statistically significantly above chance performance in accuracy (combined with sensitivity measures in some studies) for Pointing tasks, in looking time for IPLP tasks.

Acquisition of 3SG and 3PL Agreement in Production. A summary of methodologies and results of studies on production of number agreement in French is presented in Table 2 (below).

Table 2

3SG and 3PL production studies in French.

Study	Method	Language	MS Structure	Acquisition Criterion	Acquisition Age	Sample size
Bassano et al. (2020)	Questionnaire	French (France)	3SG	Produced by 30% of toddlers	1;6 y.	N = 27
				Produced by 50% of toddlers	1;11 y.	N = 24
				Produced by 90% of toddlers	2;3 y.	N = 21
			3PL	Produced by 50% of toddlers	2;6 y.	N = 17
				Produced by 90% of toddlers	> 3;6 y.	
Thordardottir (2005)	Samples corpus	French (Quebec)	3SG	Produced by 50% of toddlers or more (with at least two lemmas)	2;0 y.	N = 6
			3PL	Emergence (but less than 50% of toddlers)	2;0 y.	N = 6
					3;7 y.	N = 6
				Produced by 50% of toddlers or more (with one lemma)		

Note. 3SG = 3rd person singular. 3PL = 3rd person plural. y. = years. N = number of participants.

Parental questionnaire data (Bassano et al., 2020) indicate that the imperative and present 3SG forms are produced the earliest, from 1;6 years, both being unmarked homophones (e.g., ‘sing’ *chante* and *je/tu/il chante-s*). These forms are largely produced at 2;3 years. Plural present forms emerge later and do not reach the 90% accuracy criterion even at 3;6 years. Similar benchmarks were observed in spontaneous speech for Quebec-French children (Thordardottir, 2005). 3SG agreement was produced by most children from 2;0 years, while 3PL emerged by 2;0 years but was produced by half the children only from 3;7 years. It should be noted that the acquisition criteria for the two studies are different (see Table 2).

Past and Future. The *passé composé* and periphrastic future are the first past and future forms typically produced by French-speaking toddlers (Bassano et al., 2020). Both are compound tenses requiring two morphemes: *passé composé* combines the auxiliary *avoir* (‘to have’) or *être* (‘to be’) in the present tense with the past participle of the main verb; periphrastic future uses the modal *aller* (‘to go’) in the present tense followed by the infinitive of the main verb². For first-group verbs (–er), the past participle and infinitive are homophones (e.g., *a*

mangé /a mǎʒe/ ‘has eaten’ versus *va manger* /va mǎʒe/ ‘will eat’), the auxiliary thus representing the only audible distinction. In other verb groups, the two forms are audibly distinct (e.g., *a fini* /a fini/ ‘has finished’ versus *va finir* /va finiʁ/ ‘will finish’).

Acquisition of Tense Inflections in Comprehension. Few studies have directly investigated French-speaking toddlers’ comprehension of *passé composé* and periphrastic future. Jakubowicz (2003) found that typically developing children from age 3 comprehended *passé composé* in a pointing task (87.5% of accuracy). Recently, Kolberg et al. (2025) showed that children aged 3;0-4;0 years can distinguish present from future tense in a preferential-looking task using sentences with pseudo-verbs (e.g., *la fille dase* ‘the girl is dasing’ versus *la fille va daser* ‘the girl will dase’). When presented with two unfamiliar actions, one ongoing and one occurring after the verb production, children looked more at the action matching the tense of the prompt. They also used tense morphology to support novel verb learning, as evidenced by higher selection of matching images in a picture-choice task (Kolberg et al., 2025).

Acquisition of Tense Inflections in Production. Beyond isolated infinitive and past participle, early incorrectly used forms produced from 1;6 years (Bassano et al., 2020), other canonical verb forms appear later and are used less frequently than imperative or present singular forms. In spontaneous speech corpora, the *passé composé* emerges around 2;0 years and the periphrastic future around 2;8 years (Thordardottir, 2005). Both forms are produced by 90% of toddlers by approximately 2;10 years (Bassano et al., 2020). While standalone infinitives and past participles are rarely grammatical in adult French, and almost absent in child-directed speech, toddlers often omit auxiliaries and modals, producing transitional non-finite forms (*chien manger* ‘dog to eat’) with declining frequency as grammar develops. In elicitation tasks, Royle (2007) found that children began applying *passé composé* complete forms around 3;2 years and could generalise them to novel verbs by 3;6 years. Jakubowicz (2003) similarly reported consistent production from age 3 (3;0 years: 76.8%; 4;0 years: 78.7%; 6;0 years: 97.7%). To our knowledge, no equivalent production data are available for the future tense.

Number and Tense Production Errors in French. Research on production errors shows that error types are also subject to typological differences: Whereas English-speaking children frequently produce overregularizations (e.g., *he goed*), French-speaking children often produce stem or infinitive forms (e.g., *il mange* or *il manger* for *il a mangé*) (Nicoladis & Paradis, 2012; Paradis & Crago, 2001). For number agreement in present tense, children

commonly overuse 3SG forms for plural subjects between ages 2;0 and 7;0 years (Prévost, 2009). Ågren and van de Weijer (2013) similarly found that children aged 5;0 to 10;0 years made more errors in producing 3PL than 3SG forms—an asymmetry opposite to comprehension, where 3PL was better understood. Studies on past tense acquisition report additional error types, including infinitives produced instead of past participles (*il a prendre* for *il a pris*) and occasional overregularizations such as *il a voulu* or *il a ouvri* (Marquis et al., 2012; Royle, 2007). The first conjugation (-er) often serves as the default, while second-conjugation (-ir) patterns may also be extended to new verbs, reflecting sensitivity to morphological productivity. Notably, French-speaking children sometimes produce irregularisation, applying irregular patterns to regular verbs, reportedly more often than they overregularise (e.g., *il a prendé* ‘he taked’ instead of *il a pris* ‘he took’, Nicoladis & Paradis, 2012). This suggests sensitivity to irregular paradigms despite the dominance of the regular first conjugation.

Study Design and objectives

As outlined above, studies on the comprehension and production of number agreement and tense marking in young French-learners are scarce. The present study³ addresses this gap by examining how Swiss French learners aged 3;4 years understand and produce verbal inflections for number (3SG and 3PL in the present tense) and tense (*passé composé* and periphrastic future in 3SG, hereafter ‘past’ and ‘future’). Comprehension is assessed with a pointing task, and production with an elicited production task, using stimuli with similar patterns involving non-adjacent audible dependencies (e.g., Singular: *la fille perdo* ‘the girl loses’ versus Plural: *les filles perdent* ‘the girls lose’; Past: *la fille a perdu* ‘the girl has lost’ versus Future: *la fille va perdre* ‘the girl is going to lose’). The requirement for verb forms that are not homophonous and for similar structures restricted our selection among verbs known to young children.

For comprehension, we examine response accuracy (number of correct pointing across trials in each condition), as well as sensitivity (number of correct pointing relative to all pointing to the visual stimulus associated with a condition, including both correct and incorrect associations with the auditory stimulus, computed separately for each condition within a given contrast), in order to avoid response biases and provide a more detailed picture of competencies. For production, we examine response accuracy and error types. For both tasks, we also examine correlations with other developmental measures of morphosyntax.

Number agreement

Comprehension. Based on literature, we cannot confidently predict whether French-learning children aged 3;4 years would perform above-chance in accuracy. Prior studies in French either examined different agreement markers (Barrière et al., 2016; Legendre et al., 2010) or older children (Ågren & van de Weijer, 2013). Results are also inconsistent regarding whether unmarked forms (singular in French) are harder to comprehend than overtly marked forms (plural in French). Thus, children in the present study may or may not perform above chance in terms of accuracy, and may show either no asymmetry or better performance on plural forms. Because prior work suggests a slight plural bias (Barrière et al., 2016; Hsin et al., 2022), the sensitivity measure may correct for the potential plural advantage in accuracy.

Production. We expect that singular forms would be correctly produced largely above chance, as they emerge early and function as default, unmarked forms in French. Plural production may be less accurate, given its later development and greater phonetic complexity (Bassano et al., 2020; Thordardottir, 2005).

Tense Inflection

Comprehension. Based on a single recent study on French future tense (Kolberg et al., 2025) and on related findings in English (Harner, 1980; Valian, 2006; Wagner et al., 2009) we expect past and future tense to be understood above chance in terms of accuracy. Based on English studies using similar methods (Harner, 1980), we expect lower accuracy for future than past tense. Moreover, our study will be the first to evaluate tense comprehension using sensitivity, which allows for the correction of potential preference bias.

Production. We expect consistent production of past tense, while future tense should be less produced, and likely only produced by some children (Bassano et al., 2020; Royle, 2007; Thordardottir, 2005).

Errors in Production

Concerning production errors, both for number agreement and tense inflection, we expect children to produce mostly substitutions with default forms and/or infinitive forms (Paradis & Crago, 2001).

Links Between Tasks and With Other Language Measures

We also aim to explore the links between comprehension and production of our identical stimuli. Following findings in Spanish (Hsin et al., 2022), we expect a positive correlation between performance on the two tasks.

We also expect our experimental tasks to correlate with corresponding broader morphosyntactic measures in a standardised test battery (EXAlang 3-6, Helloin & Thibault, 2006). Specifically, we expect our experimental comprehension task to correlate positively with a standardised comprehension task and a sentence repetition task, and our experimental production task to correlate with a standardised production task and sentence repetition, supporting external construct validity.

Finally, in an exploratory analysis, we will examine correlations with relevant sections of a parental questionnaire on lexical and grammatical development (DLPF, Bassano et al., 2020), focusing on regular verb forms and on complex structures produced. As previous studies have used different indices, no directly comparable evidence is available. However, as the parental measures relate to language production, we expect our experimental production task to correlate with the morphosyntactic production indicators in the questionnaire.

Material and Methods

Participants

Thirty monolingual French-learning children participated in the comprehension task ($M = 3;4.24$ years; range: 3;4.2–3;5.11; 16 girls, 14 boys). Twenty-seven of these also completed the production task ($M = 3;4.26$ years; range: 3;4.2–3;5.11; 14 girls, 13 boys). Three children did not complete the production task, which was too daunting or demanding for them. All participants completed standardised language assessments, and responses on the parental questionnaire DLPF (Bassano et al., 2020). Three additional children were excluded from all analyses due to temporary hearing impairment ($n = 1$) or tasks refusal ($n = 2$). For the production task, three datasets were excluded because of refusal ($n = 1$), technical issues ($n = 1$), or experimenter error ($n = 1$).

This study was part of a larger longitudinal project. Children were recruited before 1;6 years through nurseries, paediatricians, social media, press release, and word of mouth. Parents provided written informed consent. Recruitment occurred in region the around Neuchâtel (Switzerland), among French-speaking families where French was the only language spoken at home. According to parental reports, all children were born at term (>37 weeks) and had no known sensory, anatomical, cognitive, or neurological conditions.

Materials

Auditory Stimuli. The linguistic targets were number and tense inflections, marked by contrastive non-adjacent audible cues: determiner and verb ending for number; auxiliary and verb ending for tense. Six second- and third-group verbs (*finir* ‘to finish’, *nourrir* ‘to feed’, *conduire* ‘to drive’, *construire* ‘to build’, *mordre* ‘to bite’, *perdre* ‘to lose’) were chosen because they present audible morphological contrasts and are transitive, imageable verbs documented in the lexicon of young children (DLPF; Bassano et al., 2020; Boisseau, 2020). Each was paired with the same subject noun phrase (*la fille* in the singular, *les filles* in the plural⁴) and an object noun phrase (varying according to the verb) across four conditions: Singular, Plural, Past, and Future (see Figure 1 for stimuli examples). This yielded a total of 24 sentences (full list in Appendix 1) contrasting 3SG and 3PL in the present tense, and Past versus Future in the 3SG.

A female native speaker of Swiss French recorded all stimuli, as well as task instructions and prompts, in a sound-attenuated booth using a Rode NT1-A microphone, Steinberg UR22 MKII audio interface, and Audacity (version 2.2.2; Team Audacity, 2018).

Visual Stimuli. Original drawings illustrated the target sentences (Figure 1), featuring a girl named Uba and her female friend (for the number contrast). The same images were used across tasks: in the comprehension task, two animated GIFs (three-frame loops, see an example Figure 2e, 3.5 s per loop) were displayed side by side; in the production task, a single static image was presented per item.⁵

Figure 1

Examples of linguistic and visual stimuli

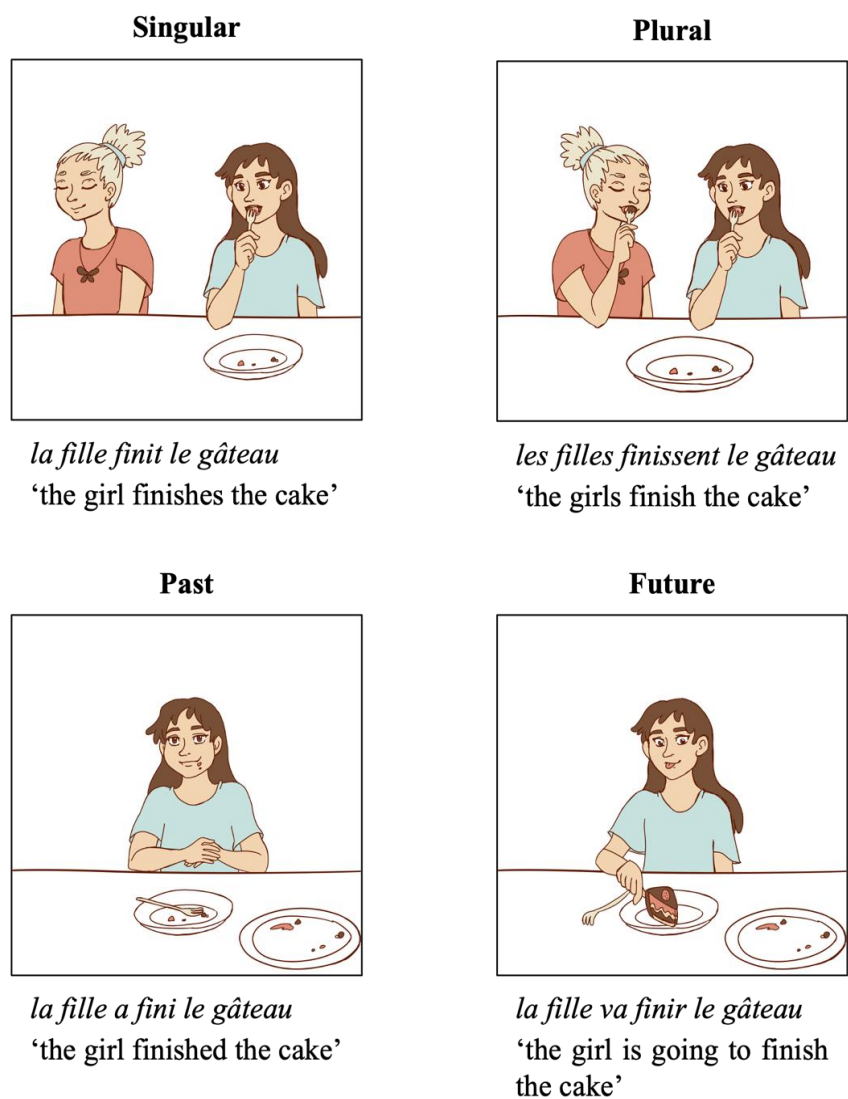
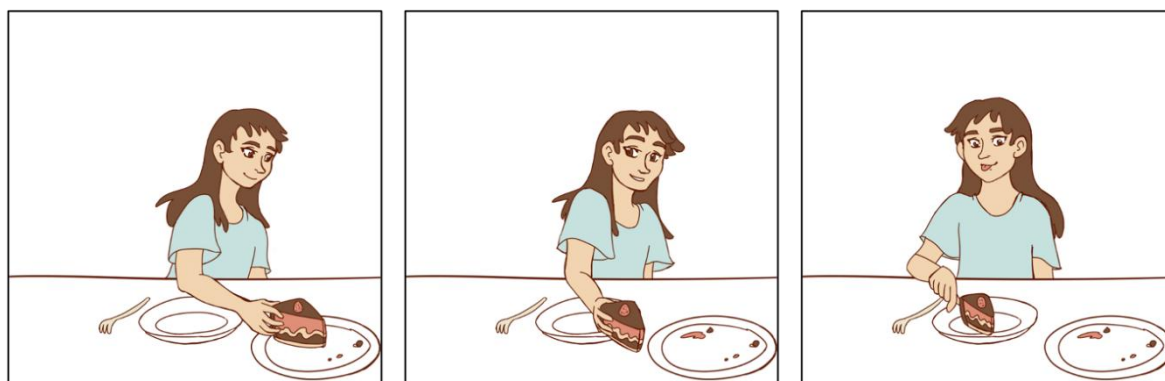


Figure 2

Example of three images forming a GIF loop used in the comprehension task



Note. La fille va finir le gâteau 'The girl is going to finish the cake'.

Procedure and Apparatus

General Schedule of Sessions. Eight tasks were administered in a fixed order across two sessions lasting 45-60 minutes, of which five were retained for analysis in the present article: the two experimental tasks and three subtests of the French standardised language battery EXAlang 3-6⁶ (Helloin & Thibault, 2006; see Table 3 for the list of the tasks and their distribution across sessions). Experimental tasks lasted approximately 15 minutes each, and standardised tasks 5 minutes. Sessions were scheduled 1 hour to 8 days apart, depending on parental availability (see Table 4 for the distribution of children by inter-session interval). The production task preceded the comprehension task to avoid exposure-based bias.

Table 3

List of tasks and distribution between sessions

Session 1	Session 2
Experimental MS production	Experimental MS comprehension
Sentence repetition (EXAlang)	MS production (EXAlang)
	MS comprehension (EXAlang)

Note. MS = morphosyntactic.

Table 4

Distribution of children by inter-session interval

Interval (days)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Children (number)	16	2	0	0	0	1	0	10	1

Note. 0 = same-day sessions ($\geq$ 1-hour interval).

Children attended sessions at the Babylab of the University of Neuchâtel in a child-friendly room, accompanied by one or both parents. After a familiarisation period, parents either waited in an adjacent room or, if the child preferred, remained seated behind the child, instructed not to intervene. During the comprehension task, present parents wore headphones playing multi-speaker babble.

Children sat in an adjustable chair facing an HP Pavilion x360 laptop (14", HD, Intel Pentium Gold 5405U, 8Go, 256Go, SSD) on a height-adjustable table. The rotating screen ensured only the display was visible. Audio was played through Logitech Z200 Multimedia Speakers (10W peak, 60-70 dB). A LogiLink ID0187 wireless keypad was used to control the experimental tasks and record responses online. Responses to standardised tasks were recorded

using a wireless mouse, and the screen was recorded throughout the experiment. Sessions were video-recorded for offline coding using a camera positioned at a rear $\frac{3}{4}$ angle, capturing pointing responses, screen content, and verbal responses.

To support participation, children were praised verbally regardless of their performance, and the session was structured with positive reinforcers: after each task, children placed a sticker on a four-square board displayed on the door, and received a small gift at the end.

Experimental Comprehension Task. Children were trained to point to one of two animated GIFs matching a heard sentence. The task, implemented in PowerPoint, was framed as a star-collecting quest and featured a rabbit character (Lilou) who introduced the task, gave instructions (*Pour gagner des étoiles, d'abord écoute bien et après montre la bonne image.* 'To win stars, first listen carefully and then show the right image.'), and provided animations for engagement. The task started with two training trials with simple static images (*ours* 'teddy bear' versus *pomme* 'apple', *chaussette* 'sock' versus *poisson* 'fish'), during which corrective feedback was given. The test phase was composed of two blocks of 12 items each, with brief reinforcement animation mid-block and a longer musical animation between blocks. Test items contrasted four conditions in pairs (Singular versus Plural, Past versus Future). Condition order, verb order, and item order were pseudo-randomised and counterbalanced across four groups. The side of the correct answer alternated pseudo-randomly (max. three repetitions in a row), and the same condition never appeared more than twice in a row. Each trial began with an attention-getter (coloured sphere and gong sound). Then, a first GIF appeared on the left side of the screen, looped once and disappeared; then the second GIF did the same on the right side; finally, both appeared together for one loop. The child simultaneously heard the prompt *Montre* ('Point') followed by the sentence and had two GIF loops (7 seconds) to respond. Responses were coded online via wireless keypad. If no response occurred, a second prompt *Tu montres* ("You point") was given, followed by another 7 seconds. If the child was still unresponsive, the task proceeded to the next trial. If it was not clear where the child pointed, the experimenter requested clarification (only once per trial).

Experimental Production Task. Children described images in a guided elicitation task implemented in PowerPoint, with lexical and morphosyntactic scaffolding. The task was framed as a balloon-collecting quest, featuring again the rabbit Lilou, who gave instructions (*Pour gagner des ballons, d'abord écoute-bien et après dis ce que tu vois.* 'To win balloons, first listen carefully and then say what you see.'), and provided animations. The six items of each condition were presented in four separate blocks. The order of blocks and verbs was

pseudo-randomised and counterbalanced across four groups. Short balloon-gain animations followed each block, with a longer musical break at mid-task. Throughout the whole experiment, the static visual stimuli appeared one at a time, centred on the screen. Each block began with a short introduction by the character with the verb *faire* ('to do') which served as a morphosyntactic primer, adapted to the condition and block order, for example:

A) Before the singular block: *Regardons ce que Uba fait*. 'Let's see what Uba is doing.', followed by the six singular trials.

B) Before the plural block: *Des fois, Uba invite sa copine. Regardons ce qu'elles font ensemble*. 'Sometimes, Uba invites her friend over. Let's see what they do together.', followed by the six plural trials.

C) Before the past tense block: *Avant, Uba était en train de faire plein de choses. Regardons ce qu'elle a fait*. 'Before, Uba was doing lots of things. Let's see what she did.', followed by the six past trials.

D) Before the future block: *Regardons ce que Uba va faire*. 'Let's see what Uba is going to do.', followed by the six future trials.

An example of the target structure (with *peindre le chat* 'to paint the cat') and a training trial (with *faire le puzzle* 'to do the puzzle') followed. For each test trial, the experimenter first presented the target verb in the infinitive with its noun complement (e.g., *perdre le chien* 'to lose the dog'), then the image was displayed. A pre-recorded non-specific prompt (*Ici, la fille...*) with rising intonation cued the child to complete the sentence. If the child gave no or an incorrect answer, the experimenter provided individualized support⁷, but only the first response was analysed. If the first three trials were failed despite support, the block was stopped, positive reinforcement maintained, and the next block began.

Standardised Tasks. Six EXAlang 3–6 subtests (Helloin & Thibault, 2006) were run as per manual. Here, we briefly describe the three tasks that we retained for analyses. These computerised tasks with pre-recorded stimuli target a range of morphosyntactic features beyond verbal inflection (e.g., prepositions and passive voice).

In the Sentence Repetition task (*Répétition de phrase*), children were asked to repeat 12 sentences containing specific morphosyntactic targets (e.g., preposition: *Les garçons vont à la plage*. 'The boys go **to** the beach'). Phonological errors were ignored. Two points were awarded for exact repetition, or one point if the target element was correct despite other errors (e.g., *Les garçons va à la plage*. 'The boys goes **to** the beach').

In the Morphosyntactic production task (*Complément de phrase sur ébauche*), children viewed an image and completed a sentence initiated by the examiner with rising intonation (e.g., *Le petit monstre est monté...* ‘The little monster went up...’, expected: **sur le bureau** ‘on the desk’). Each of the 10 items scored on a two- or three-point scale: one point for semantic appropriateness, plus one or two additional points for correct production of the targeted morphosyntactic structure, depending on its complexity.

In the Morphosyntactic comprehension task (*Aptitudes morpho-syntaxiques*), children pointed to one of three animated GIFs matching a heard sentence (e.g., number inflection: **les lapins sortent** en courant ‘The rabbits run out’ – options: one versus several rabbits running out versus one rabbit staying inside). One point was awarded per correct answer (15 items total).

Parental Questionnaire. A few days before or during the first session, one parent completed the *Développement du Langage de Production en Français* questionnaire (DLPF, Bassano et al., 2020, Version 4, 3;1-3;6 years), covering vocabulary, grammar, and communication. While partly inspired by the MacArthur Communicative Development Inventory (MCDI), the DLPF assesses children up to 3;6 years and includes a more extended grammatical section.

Two sections focussing on morphosyntax were analysed. In the Regular verb forms section (*Formes verbales régulières*), parents indicated whether their child *never*, *sometimes* or *often* produced 15 verb forms across tenses (e.g., ‘Does your child use verbs in the past tense, for example: *(j’)ai mangé* (I) have eaten, *(j’)ai fini* (I) have finished?’). Based on the standardised scores provided in the DLPF manual, one point was awarded for *sometimes* or *often*. In the Complex structures section (*Structures complexes*), parents selected, for each sentence pair, the one most similar to their child’s production. For each of 32 sentence pairs, parents selected the form that best matched their child’s current production (e.g., *maman ranger* ‘mummy tidy up’ vs. *maman va ranger* ‘mummy is going to tidy up’). One point was awarded when the more complex sentence was chosen.

Coding

Response Accuracy in both Experimental Tasks. In both experimental tasks, responses were coded online by the experimenter via PowerPoint macros. Correct answers scored 1 point and incorrect or missing answers 0, yielding a maximum of 24 points. Interrater reliability was assessed on 15% of the data (5 participants in comprehension, 4 in production). Cohen’s kappa indicated perfect agreement for comprehension (100%, $\kappa = 1$) and near-perfect agreement for production (97%, $\kappa = 0.94$). Accuracy was then calculated as the number of

correct responses relative to the total number of trials, for the full task and for each condition separately. In comprehension, a response was considered correct when the child pointed to the visual stimulus matching the target auditory sentence. This measure provides a general index of performance.

Response Sensitivity in the Experimental Comprehension Task. Following Johnson et al. (2005), response sensitivity was calculated for each condition as the number of correct pointing responses relative to all pointing responses to the visual stimulus associated with that condition, including both correct and incorrect associations with the auditory stimulus:

$$Sensitivity_{condition} = \frac{Hits}{Hits + False\ Alarms}$$

Here, hits correspond to the number of pointing responses to the visual stimulus associated with the target auditory stimulus (e.g., pointing to the singular GIF after a singular sentence), and False Alarms correspond to the number of pointing responses to the same visual stimulus when the contrasting auditory stimulus was presented (e.g., pointing to the singular GIF after a plural sentence).

This sensitivity measure is meant to adjust for individual bias toward a given visual stimulus regardless of the auditory input, and distinguishes lack of sensitivity to a grammatical contrast from low overall selection of a stimulus type.

Types and Subtypes of Error. For production, errors were first categorised as: (1) Grammatical, (2) Lexical, or (3) Other. Lexical errors involved using a verb different from the target (e.g., *elle mange* ‘she eats’ instead of *elle finit le gâteau* ‘she finishes the cake’); as these rarely met the task’s phonetic criteria, any grammatical errors on them were disregarded. Grammatical errors involved using the correct verb in an incorrect form (valid or not; e.g., *elle finir le gâteau* ‘she to finish the cake’ instead of *elle va finir le gâteau* ‘she is going to finish the cake’). Other unexpected responses were placed in the *Other* category (e.g., *elle a un peu de chocolat* ‘she has a little chocolate’ instead of *elle a finit le gâteau* ‘she finished the cake’).

Grammatical errors were further classified into subtypes based on the incorrect verb form produced. Drawing on error types described in the literature on language acquisition and developmental language disorders, eleven subtypes were initially defined (see Appendix 2). Of these, seven were attested in the data and are retained for analysis here: (1) Infinitive, (2) Present, (3) Passé composé, (4) Periphrastic future, (5) 3rd person singular (present), (6) 3rd person plural (present), and (7) Non-existent form (e.g., *elle a perdre* instead of *elle a perdu*).

Subtype (2) Present was not considered for the Number contrast, since both target forms are in the present tense. All other subtypes are theoretically possible across both contrasts, as participants' responses may have been influenced by exposure to the other morphosyntactic conditions during the task.

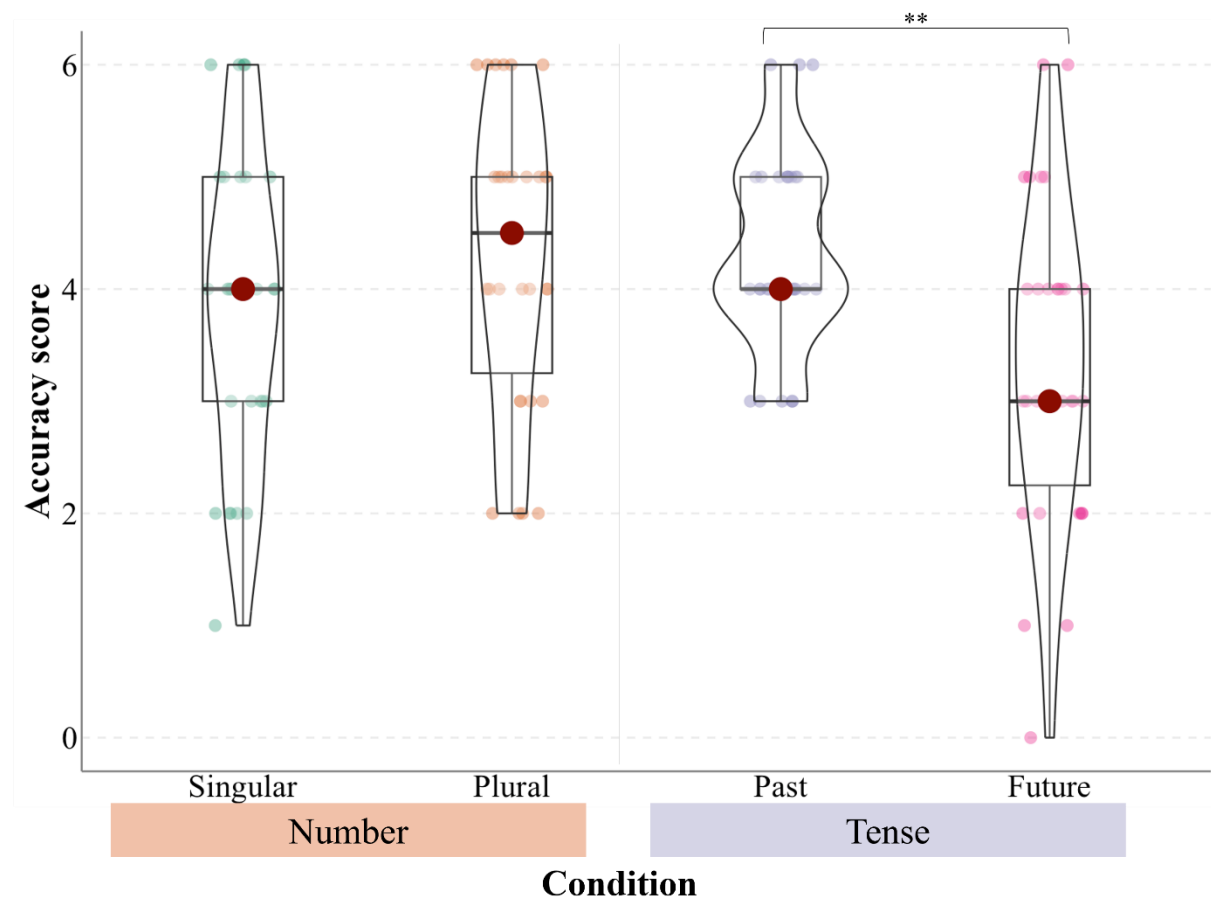
Results

Verbal Inflection Accuracy and Sensitivity

For the comprehension task, analyses were conducted on all 720 trials presented. For the production task, 603 trials were analysed; 45 trials were not administered because a block was stopped after children failed the first three trials despite support. For comprehension, accuracy and sensitivity scores for the four conditions (singular, plural, past, future) are displayed in Figures 3 and 4 and Tables 5, respectively. For production, accuracy scores for the same conditions are displayed in Figure 5 and Table 6. Data distribution differed significantly from a normal distribution in Shapiro test, requiring the use of non-parametric one-sample and paired-sample Wilcoxon signed rank tests. Statistical analyses were performed using R 4.4.2 software (R Core Team, 2024).

Figure 3

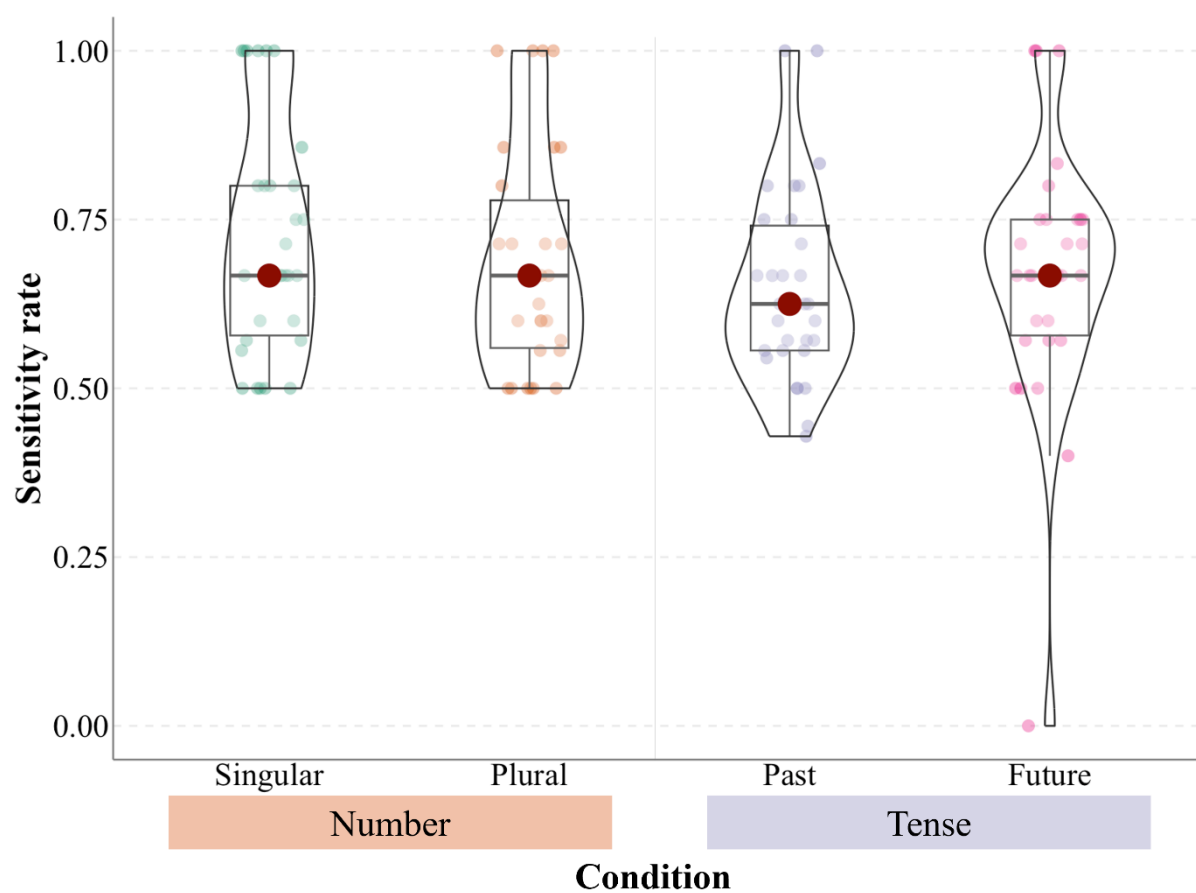
Data distribution and median of accuracy scores for the four conditions (singular, plural, past, and future) in comprehension



Note. The wider the violin plot, the more observations there are (small dots represent participant means). The tips of the whiskers in the box plots represent 1.5 interquartile ranges. Big red dots represent the median of the sample.

Figure 4

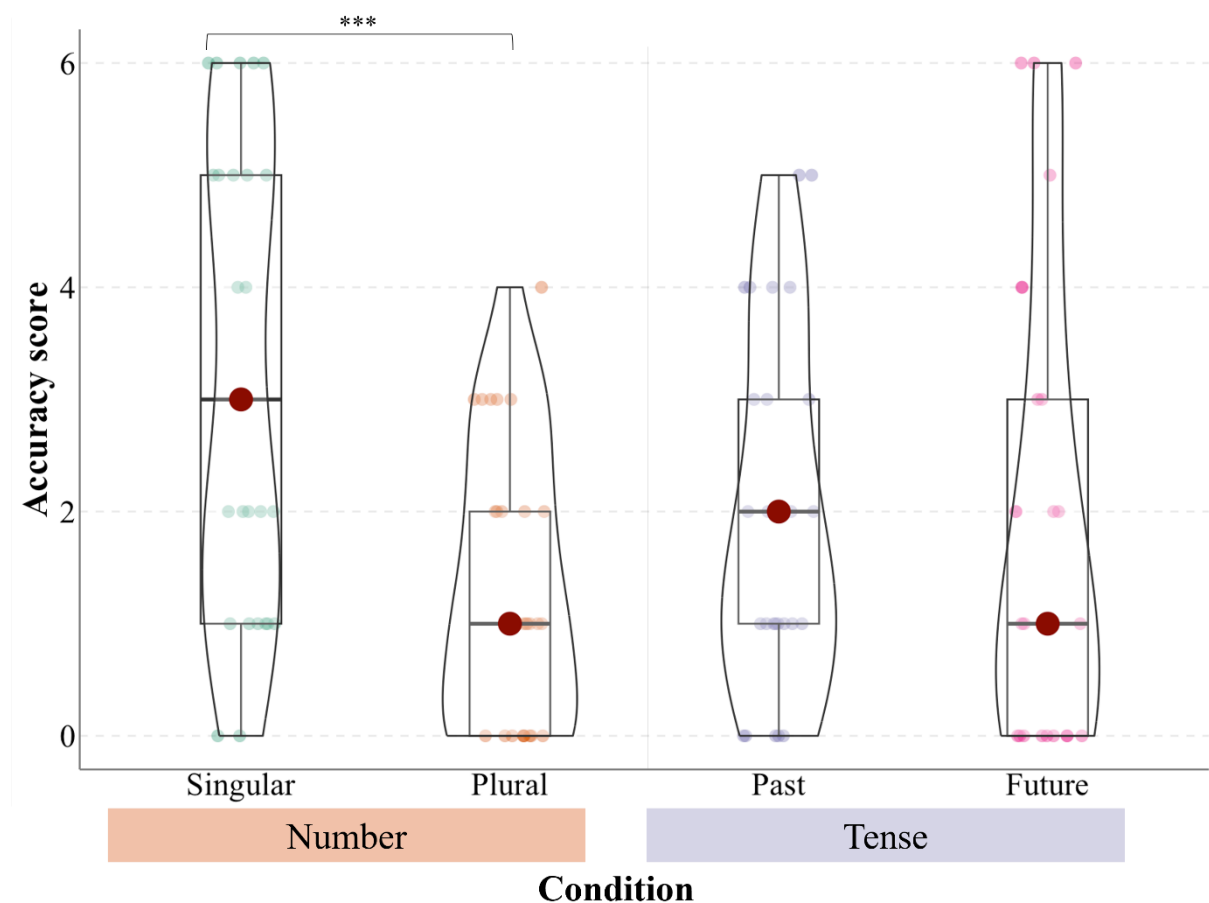
Data distribution and median of sensitivity rates for the four conditions (singular, plural, past, and future) in comprehension



Note. The wider the violin plot, the more observations there are (small dots represent participant means). The tips of the whiskers in the box plots represent 1.5 interquartile ranges. Big red dots represent the median of the sample.

Figure 5

Data distribution and median of accuracy scores for the four conditions (singular, plural, past, and future) in production



Note. The wider the violin plot, the more observations there are (small dots represent participant means). The tips of the whiskers in the box plots represent 1.5 interquartile ranges. Big red dots represent the median of the sample.

Table 5

Accuracy, Sensitivity and one-sample Wilcoxon results in comprehension

	Accuracy				Sensitivity			
	Median	V	z	p	Median	V	z	p
Singular	4.0	164	2.88	.002**	0.67	325	4.39	< .001***
Plural	4.5	327	3.91	< .001***	0.67	300	4.30	< .001***
Past	4.0	325	4.47	< .001***	0.63	367	4.28	< .001***
Future	3.0	98	-1.24	.109	0.67	348	3.82	< .001***

Note. V = the sum of the positive signed rank; z = z-score; p = p-value: ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$.

Table 6

Paired-sample Wilcoxon results comparing conditions in comprehension (accuracy and sensitivity measures) and in production.

Condition Comparison	Task	Measure	Med 1	Med 2	V	z	p	Effect Direction
Singular vs. Plural	Comprehension	Accuracy	4.0	4.5	98	-1.24	.222	ns
	Comprehension	Sensitivity	0.67	0.67	138	1.72	.090	ns
	Production	Accuracy	3.0	1.0	287	3.36	< .001***	↑ Singular
Past vs. Future	Comprehension	Accuracy	4.0	3.0	246	2.78	.006**	↑ Past
	Comprehension	Sensitivity	0.63	0.67	92	-1.14	.262	ns
	Production	Accuracy	2.0	1.0	82	0.24	.830	ns

Note. Med = median: median values refer to number of correct responses per participant for accuracy and to proportion of correct pointing relative to total pointing to the target stimulus for sensitivity; V = the sum of the positive signed rank; z = z-score; p = p-value. ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$; ↑ indicates the condition with the higher median value; ns = non-significant difference.

Number Inflection. For comprehension, both accuracy and sensitivity scores show that both singular and plural were understood above chance (Table 5), with no significant difference between them (Table 6). For production, accuracy scores show that singular was produced correctly significantly more often than plural (Table 6).

Tense Inflection. For comprehension, accuracy scores show that past tense was understood significantly above chance, but not future (Table 5), with a significant difference between them (Table 6). In contrast, sensitivity scores were above chance for both tenses (Table 5), with no significant difference between them (Table 6). For production, accuracy scores were relatively low for both tenses, and did not differ significantly between conditions (Table 6).

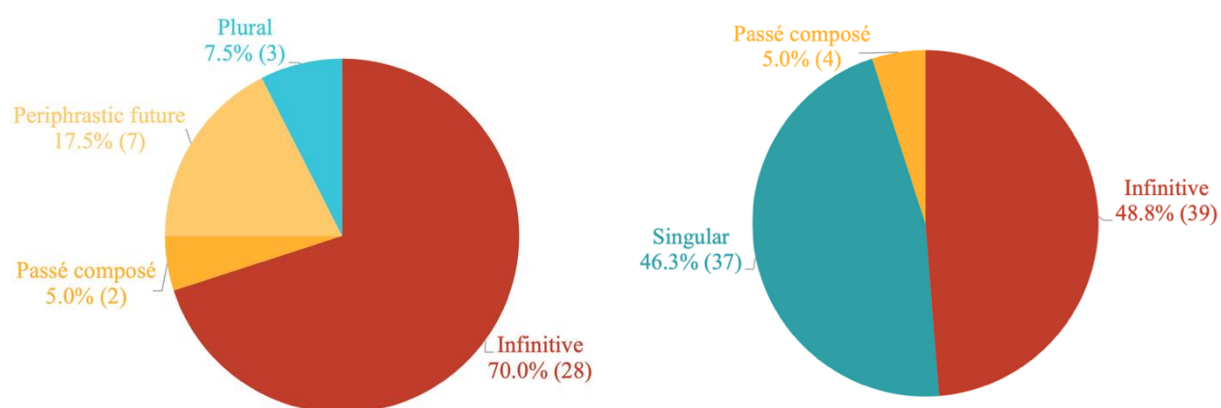
Grammatical Error Subtypes

Across all production trials, 321 responses (53.5%) did not contain the expected verb form. Of these, 244 errors (76%) were grammatical and are the focus here (see Appendix 2 for overall number and proportions per types and subtypes of error). No overregularisations were observed. As some subtypes were condition-specific, results are presented by condition (number versus tense). Because error counts were small, results are reported descriptively rather than statistically.

Number Agreement. Infinitive substitutions were frequent in both singular and plural conditions, but other error patterns differed (Figure 6). In particular, number errors were rare in the singular condition but frequent in the plural condition. Finally, there were some tense errors in the singular condition, and a few in the plural condition.

Figure 6

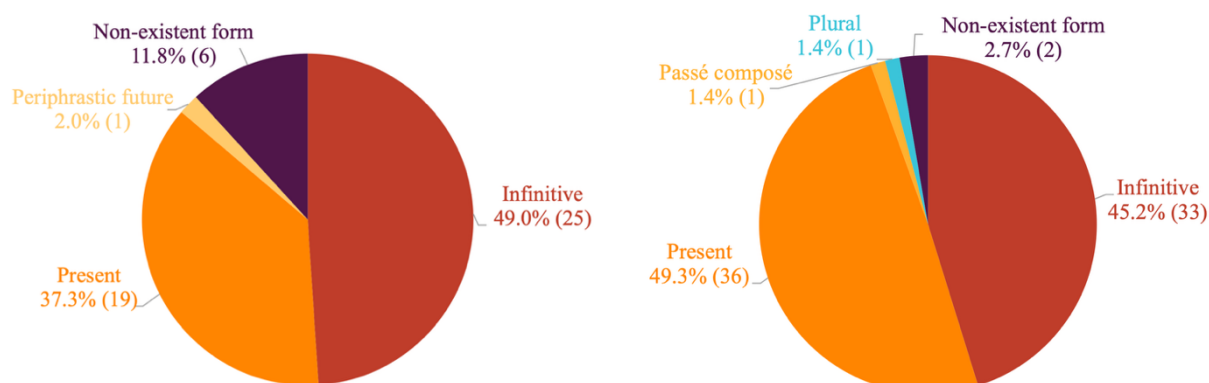
Percentage (and raw scores) of error subtypes in the singular condition (left) and the plural condition (right)



Tense Inflection. Past and future conditions showed broadly similar error patterns (Figure 7). In both, infinitive substitutions and tense errors involving the Present subtype (finite forms using the bare stem) accounted for a substantial proportion of errors. Other tense substitutions were rare, and no other past (e.g., preterit) or future forms (e.g., future simple) occurred. Number errors were absent in the Past condition and exceptional in the Future condition. Lastly, some rare non-existent forms occurred in tense conditions.

Figure 7

Percentage (and raw scores) of error subtypes in the past condition (left) and in the future condition (right)



Correlations Between the experimental Tasks and Developmental Measures

Table 7 presents descriptive statistics for the EXAlang 3-6 standardised tasks and the two relevant sections of the DLPF parental questionnaire.

Table 7

EXAlang 3-6 standardised tasks and DLPF parental questionnaire raw score medians

Task or Section	Maximum Score	Total Score Median
EXAlang 3-6 – Standardised Comprehension (n=30)	15	8
EXAlang 3-6 – Standardised Production (n=29)	24	19
EXAlang 3-6 – Sentence repetition (n=30)	24	21
DLPF – Regular verb forms (n=30)	15	12
DLPF – Complex Structures (n=30)	32	31

It is worth noting that five of the verbs used in the experimental tasks (*conduire* ‘to drive’, *construire* ‘to built’, *finir* ‘to finish’, *mordre* ‘to bite’, *perdre* ‘to lose’) assessed in the parental questionnaire are reported as known by 90% or more of the children in our sample. Only the verb *nourrir* “to feed” is not present in the questionnaire.

As some variables were not normally distributed, Spearman correlations were performed. As positive correlations were expected, one-tailed tests (“greater”) were applied.

Results are reported in Table 8. No significant correlation emerged between the experimental comprehension and production tasks. The experimental comprehension task correlated strongly with EXAlang 3-6 MS comprehension task, whereas the experimental production task correlated moderately with EXAlang 3-6 Sentence repetition task and weakly with the DLPF Regular Verb Forms section.

As some of the variables were not normally distributed, Spearman correlations were performed.

Table 8

Correlations Results

Tasks	Experimental Production	Standardised Comprehension	Standardised Production	Sentence repetition	DLPF Regular verb forms	DLPF Complex structures
Experimental Comprehension (n=30)	$\rho = 0.19$ $p = .169$	$\rho = \mathbf{0.47}$ $p = \mathbf{.005^{**}}$	$\rho = 0.2$ $p = .134$	$\rho = 0.13$ $p = .239$	$\rho = -0.00$ $p = .493$	$\rho = 0.14$ $p = .223$
Experimental Production (n=27)		$\rho = 0.18$ $p = .185$	$\rho = 0.25$ $p = .101$	$\rho = \mathbf{0.56}$ $p = \mathbf{.001^{***}}$	$\rho = \mathbf{0.39}$ $p = \mathbf{.024^*}$	$\rho = 0.20$ $p = .153$

Note. ρ : Spearman correlation coefficient (rho); p : p-value. p-values are not corrected for multiple comparisons.

Discussion

This study examined three-year-old French-learning children's comprehension and production of verbal number agreement and tense inflection using pointing and elicitation tasks. Overall, children performed above chance in comprehension, with no floor or ceiling effects, suggesting emerging but not yet fully consolidated morphosyntactic knowledge. In contrast, production performance was more fragile and varied depending on the grammatical condition, pointing to a common asymmetry between comprehension and production at this age. These intermediate performance levels must be interpreted in light of both task-related demands and properties of the linguistic material. Both tasks place substantial cognitive and processing demands on young children (Brandt-Kobele & Höhle, 2010), despite careful adaptation, potentially constraining performance independently of underlying competence. In addition, the use of less regular verb forms, which do not readily support highly productive patterns in French (Marquis et al., 2012), may have further limited performance. Taken together, these findings suggest that children's performance reflects an interaction between task constraints and the current state of their morphosyntactic representations.

Number agreement

To our knowledge, no previous study has examined comprehension of number agreement marked by a determiner and a verbal suffix in young French-learning children. Like the older children aged 5–7 years in Ågren and van de Weijer (2013), our participants performed above chance for both plural and singular forms in terms of accuracy. We found no significant difference between the two conditions, which is different from Ågren and van de Weijer (2013), but in line with Legendre et al. (2010)'s findings on children aged 2;6 years, who performed above chance for both plural and singular forms with liaisons.

A key difference between our and Ågren and van de Weijer's (2013) study is that their stimuli contained a single audible cue (the verbal suffix only), versus two cues in ours (determiner + verbal suffix). They used the homophonous pronouns *il-ils* /il/, while we used phonetically distinct determiners (/la/versus /le/), which likely facilitated comprehension of both number conditions in our study, given toddlers' early sensitivity to determiners (Robertson et al., 2012), its appearance at the beginning of the sentence, and the salient distinction in vowels. While this raises the possibility that children relied mainly on determiners in our study, evidence suggests toddlers can process agreement hierarchically, integrating determiner–verb concordance rather than treating cues independently (Shi et al., 2020). The overt marking of number on the determiner in our study, especially in the singular condition, likely reduced the impact of saliency that typically drives the plural-singular asymmetry we did not replicate, i.e. better comprehension when the verb carries overt suffix than when it is unmarked (Kenanidis et al., 2021; Pérez-Leroux, 2005). Replicating our paradigm using a single suffixal cue, i.e. with pronouns as in Ågren and van de Weijer's (2013) study, would be valuable, to test whether performance remains above chance and whether the asymmetry would be present. Additionally, looking-while-listening paradigms with analyses time-locked to the linguistic signal (Lukyanenko & Fisher, 2016) could help disentangle the relative contribution of the determiner and the verbal suffix to children's online number agreement processing."

Our methodological choices may also have facilitated comprehension compared to Ågren and van de Weijer (2013), as dynamic GIFs (versus their static drawings) and a two-choice format (versus their four-choice format) may have facilitated performance (Gavarró & Keidel, 2024; Legendre et al., 2010). Future work could replicate our experiment with even younger children to assess the developmental trajectory of number agreement acquisition, and potential singular/plural asymmetrical patterns at certain ages. If pointing tasks prove too demanding at certain very young ages (Brandt-Kobe & Höhle, 2010), an IPLP paradigm could

be used. Since Legendre et al. (2010) found no asymmetry for liaison-based agreement at 2;6 years, this age and younger would be particularly interesting to clarify the role of frequency, cue position, and phonetic salience in number comprehension. Indeed, while determiner–verbal suffix agreement occurs more frequently than liaison-based agreement, prefixal markers may facilitate processing by appearing early in the utterance, and liaison may enhance toddlers’ attention to morphological cues (Barrière et al., 2016).

For production, accuracy was higher in the singular than in the plural condition, in line with our expectations and previous work (Bassano, 2000), although both conditions were far from ceiling (52% versus 22%). One third of children produced no plural forms and a further quarter produced only one or two, echoing results by Thordardottir (2005). Elicitation demands likely contributed to low performance (e.g., Brandt-Kobe & Höhle, 2010). Lexical prompting with the infinitive may also have biased responses, especially since half of all errors were infinitive productions, consistent with well-attested infinitive stages in development (Guasti, 2017; Wexler, 1994). Default-form productions (3SG present/imperative) in place of marked plural forms also occurred frequently, as expected (Paradis & Crago, 2001), while plural-for-singular substitutions were rare, in line with the overall scarcity of substitution errors (Ud Deen, 2017).

Overall, the asymmetry across modalities was incomplete: singular was produced more accurately than plural, but we did not find significant comprehension differences, similarly to Legendre et al. (2010).

Tense Inflection

Past tense was understood above chance, in terms of accuracy—as expected given previous studies (Harner, 1980; Valian, 2006; Wagner et al., 2009)—while future tense was not. This contrasts with Kolberg et al. (2025), who found that French children aged 3;0–5;0 years could distinguish present from future in an IPLP task with pseudo-verbs. Since both studies used dynamic visual stimuli, stimulus type cannot explain the discrepancy—contrary to their assumption. Two methodological factors likely contributed. First, offline pointing tasks tend to be harder for toddlers than on-line gaze-time measures, which often reveal earlier competence (e.g., Gavarró & Keidel, 2024; Kouider et al., 2006). Second, representing future actions visually is inherently challenging. Kolberg et al. (2025) suggested that associating an image of an ongoing action (e.g., eating a cake) with its future outcome (e.g., finishing the cake) may involve overlapping temporal concepts. Although this interpretation is plausible, we attempted to minimise such ambiguity in our stimuli. Further complexity arises from the

cognitive demands of decentring: in our task, understanding the future required inferring what will happen to a character, rather than anticipating one's own experience—as in Kolberg et al. (2025)—a distinction known to challenge young children (Harner, 1980; Valian, 2006). A further caveat concerns the use of GIFs as visual stimuli. Although they enable us to present dynamic events, their looping format may have obscured temporal boundaries between ongoing and completed actions. Pre-testing with adults would have helped ensure the intended contrasts were clear. In addition, past and future forms in our stimuli were structurally similar, unlike the more salient contrasts used in prior work, making successful discrimination more difficult. Yet, when correcting for the bias in our task according to which the children tended to point more to the images of past actions than those of future actions (sensitivity measure), children seemed to understand both the past and the future tense sentences, with no difference in performance between the two tenses. This highlights the importance of correcting for potential visual preferences of certain types of stimuli when evaluating comprehension performance.

In production, both tenses were correctly produced in only a third of trials, lower than expected from parental reports that both tenses appear in 90% of toddler's speech by 2;10 years (Bassano et al., 2020). In our sample, 81.5% produced at least one past form and 66.7% at least one future form. Parents, however, never selected *never* for either form. This suggests that either parental questionnaires could overestimate productive mastery, or our elicitation task could underestimate their production abilities, or both. However, whereas the verbs and the verbs group are not distinguished in the questionnaires, our tasks used less represented and less regular second and third-group verbs. This discrepancy likely reflects methodological and linguistic differences: the parental questionnaire used a coarse 3-point scale, whereas our elicitation task required producing six different, non-first-group verbs, a more demanding test of generalisation, knowing that toddlers begin to produce verbal agreement with a limited number of verbs (Bassano, 2000). Most errors were infinitives (Past: 49%; Future: 45.2%) or bare-stem present 3SG forms (Past: 37.3%; Future: 49.3%). As with number agreement, we cannot exclude a bias from our prompting by the infinitive, but these patterns also align with the literature (Paradis & Crago, 2001): when inflections were difficult, children reverted to more simple and frequent forms. Omission of the future auxiliary *aller* with an isolated infinitive is also well-documented as an early form (Bassano et al., 2020). Substitution of present for future may partly reflect difficulties in temporal-concept or visual stimuli interpretation, but this cannot fully explain performance: children showed above-chance comprehension of both tenses (according to sensitivity scores), and each production block was

introduced with explicit morphosyntactic priming, examples, and practice trials. This substantial scaffolding should therefore have clarified the expected tense, but it seems that the elicitation expectations and the described context were cognitively (too) complex for many toddlers. In any case, the use of past tense for the future tense was very anecdotal. In addition, the distribution of tense conditions may have introduced a bias toward the present tense: present items (singular and plural) accounted for half of all trials, compared to only a quarter each for past and future. This imbalance may have increased the salience and accessibility of present-tense forms, potentially leading to their overuse in past and future contexts. No overregularisation were observed—possibly because children had not yet reached productive mastery allowing such creations, or because task complexity stifled the ability to produce such forms. Possibly, the verbs used were also familiar enough to avoid incorrect rule application, as confirmed by parental questionnaires. A few non-existent forms occurred, consisting mainly in blending construction, suggesting that some morphological representations were still weak or insufficiently abstract (Tomasello, 2003).

A potential limitation of the present study relates to the within-subject design, as the same children completed both comprehension and production tasks. Although these tasks were not typically administered within the same session, some temporal proximity and the broader testing context may still have introduced carry-over effects, for instance through increased familiarity with the target structures, task-switching demands or, conversely, fatigue across sessions (Jhangiani et al., 2019). The order of tasks was not counterbalanced across participants, as administering a comprehension task prior to a production task using the same items is known to induce carry-over effects due to prior exposure. A fixed task order was therefore adopted to minimise this specific source of bias. Nonetheless, some cross-task influence cannot be entirely ruled out. Future studies could address this issue by adopting a between-subject design.

Correlations between tasks and with further language data

No correlation emerged between our comprehension and production tasks, unlike in Hsin et al. (2022), who found such a link in Spanish learners aged 3;6 years. Two differences may explain this: their study tested only plural agreement production (elicited from singular prompts), and Spanish plural markers (/–an/, /–en/) are more regular than the French forms used here (/–is/, /–ɥiz/, /–də/).

However, significant correlations were found with standardised morphosyntax tasks. As expected, the experimental comprehension task correlated with the standardised morphosyntactic comprehension task, while the production task correlated with the sentence

repetition task, which is generally accepted as a reliable indicator of morphosyntactic ability (e.g., Riches, 2012). Although our tasks targeted only a few specific morphosyntactic structures, they are nevertheless in synchrony with broader aspects of morphosyntactic development, and thus demonstrated construct validity. Lastly, the absence of a correlation with the standardised MS production task likely reflects task differences in content: our comprehension task shared greater similarity with EXAlang’s morphosyntactic comprehension task (Helloin & Thibault, 2006) in both format and linguistic targets, whereas the two production tasks differed more in target structures. Indeed, the EXAlang’s MS comprehension task comprises six items (out of fifteen) directly contrasting the target structures of our tasks (3SG/3PL, present tense/*passé composé*, *passé composé*/periphrastic future), while the EXAlang’s MS production task examines only one structure (out of fourteen) corresponding to our target structures (periphrastic future). As for the sentence repetition task, it offers 3 items (out of 12) targeting our target structures (3PL, *passé composé*, periphrastic future).

Finally, the only correlation with the relevant parental questionnaire sections (DLPF, Bassano et al., 2020) was a weak link between our production task and Regular Verb Forms section. This may reflect limitations of the parental report: it assesses production only, provides coarse frequency ratings (*never / sometimes / often*) or binary (*yes / no*) responses to whether a structure is produced. As argued in item-based acquisition accounts (Tomasello, 2000), producing a form with one verb does not necessarily indicate robust conceptual representations of number and tense. Moreover, previous studies linking agreement measures to parental reports found correlations with the number of verbs understood (Legendre et al., 2010; Lukyanenko & Fisher, 2016), whereas the DLPF focuses on production. Furthermore, parental questionnaires tend to be less sensitive after 3 years, as most children already produce a large repertoire of words and structures (Legendre et al., 2014; Lukyanenko & Fisher, 2016). For the DLPF, the Complex structure sections is affected by ceiling effects, both at 3;6 years in the standardisation sample and in our study.

Conclusion

This study provides new quantitative milestones for the comprehension and production of number agreement and compound tense inflection in French-speaking three-year-olds. By testing these two non-adjacent structures in the same children and combining comprehension and production measures, we show that children already demonstrate awareness of both structures, though productive mastery remains limited in this context, particularly for plural forms and the periphrastic future. These findings support a gradual view of morphosyntactic

development, with early surface-level competence consolidating into more abstract and generalisable representations over time. They also highlight methodological challenges, as well as the limitations of parental reports at this age and the value of developmentally appropriate language measures when exploring correlations with broader linguistic skills.

Our results add to the body of knowledge of developmental milestones. The high rate of infinitive and default-form substitutions aligns well with previous research (Paradis & Crago, 2001; Wexler, 1994), which posits that children rely on unmarked or default forms when inflectional marking is difficult. The persistence of these patterns at age 3;4 underscores that elicited production remains a demanding context at this age.

Future research should continue addressing several open questions. Longitudinal designs could clarify whether early comprehension advantages predict later productive mastery, and whether production lags reflect methodological demands or representational immaturity. Cross-linguistic work comparing French with other morphologically rich languages could help disentangle the relative contribution of marker salience and structural type or position. Finally, replication with younger children and methodological variations such as combination of on-line and off-line measures or adjustment of visual stimuli—may reveal earlier or further evidence of children’s morphosyntactic competence.

From a clinical perspective, the benchmarks reported here contribute to the refinement of reference data for morphosyntactic assessment in French. Since number agreement and tense marking are sensitive markers for certain subtypes of Developmental Language Disorder (DLD; van Der Lely & Marshall, 2023), having precise estimates of comprehension and production at age three can improve early screening and support targeted interventions. In particular, distinguishing between limited production due to cognitive or processing constraints versus genuine morphosyntactic delay remains a crucial challenge. The combined use of accuracy, sensitivity, and error-type analyses illustrates the value of going beyond binary correctness measures when characterising early morphosyntactic competence.

Data availability statement

The data that support the findings of this study are available from the corresponding author, J.B., upon reasonable request.

Acknowledgments

We are grateful to all participants and their families for their involvement, as well as daycare staff and paediatricians who assisted with recruitment. Special thanks go to Dahliane Labertonière for the illustrations of the stimuli, to Solène Belogi for lending her voice to Lilou, to Amélie Steiner for her valued help with data processing, and both Amélie Steiner and Salomé Schwob for the inter-rating coding. We also thank the audiences at WILD, ICIS and IASCL Congresses 2024, for their valuable feedbacks on the preparatory work for this article presented in poster form.

Disclosure of use of AI tools: During the preparation of this manuscript, DeepL was used for translation purposes. ChatGPT (by OpenAI) was employed to assist with language refinement, including correcting grammar, improving formulations, and reducing word count. All content comes directly from the authors, and they reviewed and approved the final version.

Authorship contribution statement

Julie Bodard: Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Funding acquisition, Investigation, Methodology, Project administration, Resources, Software, Visualization, Writing – original draft, Writing – review & editing.

Thierry Nazzi: Conceptualization, Methodology, Supervision, Writing – original draft, Writing – review & editing.

Katrin Skoruppa: Conceptualization, Formal analysis, Methodology, Project administration, Resources, Supervision, Writing – original draft, Writing – review & editing.

Funding disclosure statement

This project was funded by an SNF Doc.CH grant (FN P0NEP1_178712) and the Institut des sciences logopédiques, Université de Neuchâtel.

Competing interests statement

The authors declare no competing interests.

Ethics statement

This study was approved by the local ethics committee on research involving humans: Swiss Ethics section of the canton of Vaud, No. 2018-00765.

References

- Ågren, M., & van de Weijer, J. (2013). Number problems in monolingual and bilingual French-speaking children: A production/comprehension divide. *Language, Interaction and Acquisition*, 4(1), 25–50. <https://doi.org/10.1075/lia.4.1.02agr>
- Aksu-Koç, A. (1988). *The acquisition of aspect and modality: The case of past reference in Turkish*. Cambridge University Press.
- Barrière, I., Goyet, L., Kresh, S., Legendre, G., & Nazzi, T. (2016). Uncovering productive morphosyntax in French-learning toddlers: A multidimensional methodology perspective. *Journal of Child Language*, 43(5), 1131–1157. <https://doi.org/10.1017/S0305000915000495>
- Bassano, D. (2000). Early development of nouns and verbs in French: Exploring the interface between lexicon and grammar. *Journal of Child Language*, 27(3), 521–559. <https://doi.org/10.1017/S0305000900004396>
- Bassano, D., Laaha, S., Maillochon, I., & Dressler, W. U. (2004). Early acquisition of verb grammar and lexical development: Evidence from periphrastic constructions in French and Austrian German. *First Language*, 24(1), 33–70. <https://doi.org/10.1177/0142723704040704>
- Bassano, D., Labrell, F., & Bonnet, P. (2020). *Évaluer les débuts du langage avec le DLPF. Lexique, grammaire et pragmatique chez le jeune enfant*. <https://shs.hal.science/halshs-02436994>
- Boisseau, P. (2020). *Enseigner la langue orale en maternelle*. Retz. <https://doi.org/https://doi.org/10.14375/NP.9782725639581>
- Brandt-Kobe, O.-C., & Höhle, B. (2010). What asymmetries within comprehension reveal about asymmetries between comprehension and production: The case of verb inflection in language acquisition. *Lingua*, 120(8), 1910–1925. <https://doi.org/10.1016/j.lingua.2010.02.008>
- Brown, R. (1973). *A first language: The early stages*. Harvard University Press. <https://doi.org/10.4159/harvard.9780674732469>
- Castilla-Earls, A., Pérez-Leroux, A. T., & Auza, A. (2021). Elicited vs. spontaneous language as methods for the assessment of grammatical development: The DEME assessment tool. *Revista de Logopedia, Foniatría y Audiología*, 41(4), 164–171. <https://doi.org/10.1016/j.rlfa.2021.02.002>

- Culbertson, J., Koulaguina, E., Gonzalez-Gomez, N., Legendre, G., & Nazzi, T. (2016). Developing knowledge of nonadjacent dependencies. *Developmental Psychology*, 52(12), 2174–2183. <https://doi.org/10.1037/dev0000246>
- de Villiers, J. G., & de Villiers, P. A. (1973). A cross-sectional study of the acquisition of grammatical morphemes in child speech. *Journal of Psycholinguistic Research*, 2(3), 267–278. <https://doi.org/10.1007/BF01067106>
- Diessel, H. (2004). *The acquisition of complex sentences*. Cambridge University Press.
- Estivalet, G. L., & Meunier, F. (2020). Morphological operations in French verbal inflection: Automatic, atomic, and obligatory. *Lingua*, 240, 102839. <https://doi.org/10.1016/j.lingua.2020.102839>
- Gavarró, A., & Keidel, A. (2024). Subject–verb agreement: Three experiments on Catalan. *First Language*, 44(4), 372–394. <https://doi.org/10.1177/01427237241252873>
- Gonzalez-Gomez, N., Hsin, L., Barrière, I., Nazzi, T., & Legendre, G. (2017). Agarra, agarran: Evidence of early comprehension of subject–verb agreement in Spanish. *Journal of Experimental Child Psychology*, 160, 33–49. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2017.02.010>
- Guasti, M. T. (1993). Verb Syntax in Italian Child Grammar: Finite and nonfinite verbs. *Language Acquisition*, 3(1), 1–40. https://doi.org/10.1207/s15327817la0301_1
- Guasti, M. T. (2017). *Language acquisition, second edition: The growth of grammar*. MIT Press. <https://mitpress.mit.edu/books/language-acquisition-second-edition>
- Gxilishe, S., Smouse, M., Xhalisa, T., & Villiers, J. de. (2009, January 1). Children’s insensitivity to information from the target of agreement: The case of Xhosa. *Proceedings of the 3rd Conference on Generative Approaches to Language Acquisition North America (GALANA 2008)*. Philosophy: Faculty Publications, Smith College, Northampton, MA. https://scholarworks.smith.edu/phi_facpubs/48
- Halle, M., & Marantz, A. (2004). Distributed Morphology and the Pieces of Inflection. In F. Katamba (Ed.), *Morphology: Critical Concepts in Linguistics* (Vol. 1, pp. 381–440). Routledge.
- Harner, L. (1980). Comprehension of past and future reference revisited. *Journal of Experimental Child Psychology*, 29(1), 170–182. [https://doi.org/10.1016/0022-0965\(80\)90099-5](https://doi.org/10.1016/0022-0965(80)90099-5)
- Harner, L. (1981). Children talk about the time and aspect of actions. *Child Development*, 52(2), 498. <https://doi.org/10.2307/1129167>

- Helloin, M.-C., & Thibault, M.-P. (2006). *EXALang 3-6: Examen des troubles du langage et de la parole*. OrthoMotus.
- Hsin, L. B., Gonzalez-Gomez, N., Barrière, I., Nazzi, T., & Legendre, G. (2022). Converging evidence of underlying competence: Comprehension and production in the acquisition of Spanish subject-verb agreement. *Journal of Child Language*, 49(5), 851–868. <https://doi.org/10.1017/S0305000921000301>
- Jakubowicz, C. (2003). Computational complexity and the acquisition of functional categories by French-speaking children with SLI. *Linguistics*, 41(2). <https://doi.org/10.1515/ling.2003.007>
- Jhangiani, R. S., Chiang, I. A., Cuttler, C., & Leighton, D. C. (2019). Experimental design. In *Research methods in psychology* (4th ed.). Kwantlen Polytechnic University. <https://kpu.pressbooks.pub/psychmethods4e/chapter/experimental-design/>
- Johnson, V. E., De Villiers, J. G., & Seymour, H. N. (2005). Agreement without understanding? The case of third person singular /s/. *First Language*, 25(3), 317–330. <https://doi.org/10.1177/0142723705053120>
- Kenanidis, P., Chondrogianni, V., Legendre, G., & Culbertson, J. (2021). Cue reliability, salience and early comprehension of agreement: Evidence from Greek. *Journal of Child Language*, 48(4), 815–833. <https://doi.org/10.1017/S0305000920000628>
- Kidd, E., & Garcia, R. (2022). How diverse is child language acquisition research? *First Language*, 42(6), 703–735. <https://doi.org/10.1177/01427237211066405>
- Kolberg, L. S., de Sá Pinto, M., Massari, G., Dargent, C., Fiévet, A. C., & de Carvalho, A. (2025). Tense morphology can guide real-time interpretation of novel verbs in young children. *Proceedings of the 49th Annual Boston University Conference on Language Development*, 397–409.
- Kouider, S., Halberda, J., Wood, J., & Carey, S. (2006). Acquisition of English number marking: The singular-plural distinction. *Language Learning and Development*, 2(1), 1–25. https://doi.org/10.1207/s15473341l1ld0201_1
- Legendre, G., Barrière, I., Goyet, L., & Nazzi, T. (2010). Comprehension of infrequent subject–verb agreement forms: Evidence from French-Learning children. *Child Development*, 81(6), 1859–1875. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01515.x>
- Legendre, G., Culbertson, J., Zaroukian, E., Hsin, L., Barrière, I., & Nazzi, T. (2014). Is children’s comprehension of subject–verb agreement universally late? Comparative

- evidence from French, English, and Spanish. *Lingua*, 144, 21–39.
<https://doi.org/10.1016/j.lingua.2013.05.004>
- Lukyanenko, C., & Fisher, C. (2016). Where are the cookies? Two- and three-year-olds use number-marked verbs to anticipate upcoming nouns. *Cognition*, 146, 349–370.
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2015.10.012>
- Marchman, V. A., Dale, P. S., & Fenson, L. (2023). *MacArthur-Bates communicative development inventories User's guide and technical manual* (3rd ed.).
- Marquis, A., Royle, P., Gonnerman, L., & Rvachew, S. (2012). La conjugaison du verbe en début de scolarisation. *TIPA. Travaux Interdisciplinaires Sur La Parole et Le Langage*, (28). <https://doi.org/10.4000/tipa.201>
- Moyle, M. J., Ellis Weismer, S., Evans, J. L., & Lindstrom, M. J. (2007). Longitudinal relationships between lexical and grammatical development in typical and late-talking children. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 50(2), 508–528.
[https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2007/035\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2007/035))
- Mueller Gathercole, V. C., Sebastián, E., & Soto, P. (1999). The early acquisition of Spanish verbal morphology: Across-the-board or piecemeal knowledge? *International Journal of Bilingualism*, 3(2–3), 133–182. <https://doi.org/10.1177/13670069990030020401>
- Nazzi, T., Barrière, I., Goyet, L., Kresh, S., & Legendre, G. (2011). Tracking irregular morphophonological dependencies in natural language: Evidence from the acquisition of subject-verb agreement in French. *Cognition*, 120(1), 119–135.
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2011.03.004>
- Nicoladis, E., & Paradis, J. (2012). Acquiring regular and irregular past tense morphemes in English and French: Evidence from bilingual children. *Language Learning*, 62(1), 170–197. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9922.2010.00628.x>
- Paradis, J., & Crago, M. (2001). The morphosyntax of specific language impairment in French: An extended optional default account. *Language Acquisition*, 9(4), 269–300.
https://doi.org/10.1207/S15327817LA0904_01
- Pérez-Leroux, A. T. (2005). Number problems in children. *Proceedings of the 2005 Canadian Linguistic Association Annual Conference*, 12, 12.
- Pizzuto, E., & Caselli, M. C. (1992). The acquisition of Italian morphology: Implications for models of language development. *Journal of Child Language*, 19(3), 491–557.
<https://doi.org/10.1017/S0305000900011557>

- Prévost, P. (2009). *Acquisition of French: The development of inflectional morphology and syntax in L1 acquisition, bilingualism, and L2 acquisition*. John Benjamins Publishing Company.
- R Core Team. (2024). *R: A language and environment for statistical computing* (Version 4.3.3) [Computer software]. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Rice, M. L., & Wexler, K. (1996). Toward tense as a clinical marker of specific language impairment in English-speaking children. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 39(6), 1239–1257. <https://doi.org/10.1044/jshr.3906.1239>
- Rice, M. L., Wexler, K., & Hershberger, S. (1998). Tense over time: The longitudinal course of tense acquisition in children with specific language impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 41(6), 1412–1431. <https://doi.org/10.1044/jslhr.4106.1412>
- Riches, N. G. (2012). Sentence repetition in children with specific language impairment: An investigation of underlying mechanisms. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 47(5), 499–510. <https://doi.org/10.1111/j.1460-6984.2012.00158.x>
- Robertson, E. K., Shi, R., & Melançon, A. (2012). Toddlers use the number feature in determiners during online noun comprehension. *Child Development*, 83(6), 2007–2018. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2012.01828.x>
- Royle, P. (2007). Variable effects of morphology and frequency on inflection patterns in French preschoolers. *The Mental Lexicon*, 2(1), 103–125. <https://doi.org/10.1075/ml.2.1.07roy>
- Santelmann, L. M., & Jusczyk, P. W. (1998). Sensitivity to discontinuous dependencies in language learners: Evidence for limitations in processing space. *Cognition*, 69(2), 105–134. [https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(98\)00060-2](https://doi.org/10.1016/S0010-0277(98)00060-2)
- Shi, R., Legrand, C., & Brandenberger, A. (2020). Toddlers track hierarchical structure dependence. *Language Acquisition*, 27(4), 397–409. <https://doi.org/10.1080/10489223.2020.1776010>
- Smoczyńska, M., & Slobin, D. I. (1985). The acquisition of Polish. In *The Crosslinguistic Study of Language Acquisition* (Vol. 1, pp. 595–686). Lawrence Erlbaum Associates.
- Smolík, F., & Bláhová, V. (2022). Here come the nouns: Czech two-year-olds use verb number endings to predict sentence subjects. *Cognition*, 219, 104964. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2021.104964>

- Snyder, W. (2011). Children's grammatical conservatism: Implications for syntactic theory. *Proceedings of the 35th Annual Boston University Conference on Language Development*, 1, 1–20.
- Stoll, S. (2015). Crosslinguistic approaches to language acquisition. In E. L. Bavin & L. R. Naigles (Eds), *The Cambridge Handbook of Child Language* (pp. 107–134). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781316095829.006>
- Szagun, G. (1978). On the frequency of use of tenses in English and German children's spontaneous speech. *Child Development*, 49(3), 898. <https://doi.org/10.2307/1128267>
- Team Audacity. (2018). *Audacity* (Version 2.2.2) [Computer software]. Free Software Foundation. <http://audacity.sourceforge.net>
- Thordardottir, E. T. (2005). Early lexical and syntactic development in Quebec French and English: Implications for cross-linguistic and bilingual assessment. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 40(3), 243–278. <https://doi.org/10.1080/13682820410001729655>
- Tomasello, M. (2003). *Constructing a language: A usage-based theory of language acquisition*. Harvard University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctv26070v8>
- Ud Deen, K. (2017). The acquisition of morphology. In E. M. Fernández & H. S. Cairns (Eds), *The Handbook of Psycholinguistics* (1st ed., pp. 567–592). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118829516.ch25>
- Valian, V. (2006). Young children's understanding of present and past tense. *Language Learning and Development*, 2(4), 251–276. https://doi.org/10.1207/s15473341l1d0204_2
- Valian, V. (2015). Innateness and learnability. In E. L. Bavin & L. R. Naigles (Eds), *The Cambridge Handbook of Child Language* (pp. 15–36). Cambridge University Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1017/CBO9781316095829.002>
- van Der Lely, H., & Marshall, C. (2023). Grammatical-specific language impairment: A window onto domain specificity. In J. Guendouzi, F. Loncke, & M. J. Williams (Eds), *The Routledge International Handbook of Psycholinguistic and Cognitive Processes* (pp. 321–334). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003204213>
- van Heugten, M., & Shi, R. (2010). Infants' sensitivity to non-adjacent dependencies across phonological phrase boundaries. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 128(5), EL223–EL228. <https://doi.org/10.1121/1.3486197>

- van Horne, A. O. (2019). The role of input in syntax and morphology acquisition: Evidence from production. In J. S. Horst & J. von Koss Torkildsen (Eds), *International Handbook of Language Acquisition* (pp. 261–284). Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9781315110622-14>
- Wagner, L., Swensen, L. D., & Naigles, L. R. (2009). Children's early productivity with verbal morphology. *Cognitive Development*, 24(3), 223–239.
<https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2009.05.001>
- Wexler, K. (1994). Optional infinitives, head movement and the economy of derivations. In D. Lightfoot & N. Hornstein (Eds), *Verb Movement*. Cambridge University Press.
 (Original work published N. Hornstein & D. Lightfoot)

Notes

¹ It should be noted that in spoken language it also frequently used the combination of the two structures: noun phrase + clitic pronoun (e.g., *le garçon, il mange* ‘the boy, he eats’).

² Direct comparisons between French and English are challenging due to structural and functional differences in the tense systems. While the *passé composé* is formed similarly to the English present perfect, semantically it can correspond to both simple past (*Il a regardé un film* ‘He watched a movie’) and present perfect (*J’ai trouvé une solution* ‘I have found a solution’). In contrast with simple future denoting hypothetical or planned actions (*Il partira* ‘He will leave’), the French periphrastic future (*Il va partir* ‘He will leave’) conveys immediacy, tied to the moment of enunciation. While *va* seems to be literally translatable as “gonna”, the English “gonna” most often lacks this direct connection to the enunciation situation.

³ The described experiments are part of a broader longitudinal study investigating the role of statistical learning mechanisms in the development of morphosyntax, particularly in the processing of non-adjacent dependencies. The whole project have been approved by the local ethics committee (Swiss Ethics Vaud, No. 2018-00765).

⁴ The noun *fille* was used instead of *garçon* in Legendre et al. (2010) to reduce the distance between the determiner and the verbal inflection and thus homogenise the number and tense stimuli with one or two syllables between the elements of the non-adjacent dependence.

⁵ Piloting showed that children were distracted by the looping effect when a GIF was shown alone and they had to label it, but not when two were presented side by side and they had to point to one of them. We therefore retained GIFs in the comprehension task, to support understanding of temporal aspects.

⁶ Across the two sessions, children completed eight tasks in the following order: Lexicon production (EXAlang), experimental morphosyntactic production, Lexicon comprehension (EXAlang), and Sentence repetition (EXAlang) in Session 1; and morphosyntactic production (EXAlang), experimental morphosyntactic comprehension, Pseudo-word repetition

(EXAlang), and morphosyntactic comprehension (EXAlang) in Session 2. For both experimental and standardised measures, production tasks were administered before the corresponding comprehension tasks to minimise influence of prior exposure to the same items on later performance.

⁷ If the child did not use the expected verb (e.g., *perdre le chien* ‘to lose the dog’), lexical support was provided; if the verb form was incorrect, morphosyntactic support was given (e.g., for past tense: *Qu’est-ce qu’elle a fait la fille?* ‘What did the girl do?’). If there was no response, both supports were offered. A non-specific prompt followed (e.g., *À toi ! Ici, la fille...* ‘Your turn! Here, the girl...’ or *Elle...* ‘She...’).

Appendix

Appendix 1

Item List

Singular	
La fille finit le gâteau	“The girl is finishing the cake”
La fille nourrit le bébé	“The girl is feeding the baby”
La fille conduit la voiture	“The girl is driving the car”
La fille construit la tour	“The girl is building the tour”
La fille mord le garçon	“The girl is biting the boy”
La fille perd le chien	“The girl is losing the dog”
Plural	
Les filles finissent le gâteau	“The girls are finishing the cake”
Les filles nourrissent le bébé	“The girls are feeding the baby”
Les filles conduisent la voiture	“The girls are driving the car”
Les filles construisent la tour	“The girls are building the tour”
Les filles mordent le garçon	“The girls are biting the boy”
Les filles perdent le chien	“The girls are losing the dog”
Past	
La fille a fini le gâteau	“The girl has finished the cake”
La fille a nourri le bébé	“The girl has fed the baby”
La fille a conduit la voiture	“The girl has driven the car”
La fille a construit la tour	“The girl has built the tour”
La fille a mordu le garçon	“The girl has bitten the boy”
La fille a perdu le chien	“The girl has lost the dog”
Future	
La fille va finir le gâteau	“The girl will finish the cake”
La fille va nourrir le bébé	“The girl will feed the baby”
La fille va conduire la voiture	“The girl will drive the car”
La fille va construire la tour	“The girl will build the tour”
La fille va mordre le garçon	“The girl will bite the boy”
La fille va perdre le chien	“The girl will lose the dog”

Appendix 2

Types and Subtypes of Error in the experimental production task (Number and Proportions)

Category	Errors Number	Errors Proportion
(1) Grammatical	244	76.0%
1. Infinitive	125	51.2%
2. Present tense	55	22.5%
3. Perfect tense (passé composé)	7	2.9%
4. Periphrastic Future tense	8	3.3%
5. Singular 3rd person (present tense)	37	15.2%
6. Plural 3rd person (present tense)	4	1.6%
7. Overgeneralisation	0	0.0%
8. Irregularisation	0	0.0%
9. Erroneous form	8	3.3%
10. Other past tense	0	0.0%
11. Other future tense	0	0.0%
(2) Lexical	52	16.2%
1. Other semantically adequate verb	33	63.5%
2. Other non-semantically adequate verb	1	1.9%
3. Other semantically adequate verb + grammatical error	15	28,8%
4. Other non-semantically adequate verb + grammatical error	3	5,8%
(3) Other	25	7.8%
1. Relevant contextual elements	8	32.0%
2. Reference to a previous item	5	20.0%
3. Digression	5	20.0%
4. Unintelligible answer	4	16.0%
5. Other	3	12.0%

4.3. Conclusion

Les résultats présentés dans ce chapitre contribuent à documenter la compréhension et la production de l'accord en nombre et des flexions de temps composés chez des enfants francophones de 40 mois. Ils s'inscrivent dans le tableau d'un développement morphosyntaxique graduel et asymétrique, confirmant une dissociation entre compréhension et production déjà bien établie dans la littérature à cet âge, particulièrement marquée pour les formes plurielles et le futur périphrastique. Les patterns d'erreurs observés — notamment la fréquence élevée des substitutions par l'infinitif — s'inscrivent dans des tendances bien documentées et soulignent que la maîtrise productive de ces structures reste en cours de consolidation à 40 mois.

Sur le plan méthodologique, la mise en relation des performances aux tâches expérimentales avec des questionnaires et des mesures standardisées du développement morphosyntaxique a permis de situer les données dans un cadre développemental plus large et d'en confirmer la validité. Elle illustre également la complémentarité des approches réceptives et expressives pour caractériser la compétence morphosyntaxique émergente.

Ces résultats constituent une base empirique importante pour la suite de cette thèse. Les structures morphosyntaxiques étudiées ici reposent sur des dépendances non adjacentes mobilisées également dans les tâches d'apprentissage statistique (AS) des phases antérieures de l'étude, ce qui assure une continuité conceptuelle et méthodologique entre les chapitres. Le chapitre suivant examine les relations entre les capacités d'AS mesurées à différents âges et le développement langagier, de manière transversale et longitudinale, afin d'explorer dans quelle mesure ces capacités s'associent aux compétences morphosyntaxiques documentées tout au long de cette thèse.

5. Exploration transversale et longitudinale des relations entre AS et développement langagier

5.1. Introduction

Nous nous intéressons à présent aux liens entre les capacités d'apprentissage statistique (AS), considérées à différents âges et à partir de différents types de stimuli, et le développement langagier de nos jeunes participants francophones. Ces relations sont examinées à la fois de façon transversale, afin d'explorer la nature des mécanismes mobilisés et leurs associations immédiates avec les compétences langagières en cours d'acquisition, et de façon longitudinale, dans le but d'explorer la trajectoire de ces capacités et leur valeur prédictive sur le développement ultérieur du langage.

5.1.1. Relations transversales

L'examen des relations transversales vise à explorer, à un âge donné, les patterns de performance observés dans les tâches d'AS, en tant qu'indices des processus sous-jacents, et leurs liens immédiats avec le développement langagier. Ces analyses permettent notamment d'interroger dans quelle mesure la sensibilité aux régularités de l'input varie en fonction du type de dépendances traitées et de la nature des stimuli, ainsi que d'examiner si ces variations sont associées aux compétences langagières en cours d'acquisition.

Un ensemble de travaux sur l'AS suggère que l'extraction de régularités adjacentes (DA) et non adjacentes (DNA) pourrait reposer sur des mécanismes partiellement distincts, mobilisant des réseaux et des représentations spécifiques en fonction des propriétés des régularités et du matériau linguistique considéré (Arnon, 2020 ; Frost et al., 2019). Dans cette perspective, les analyses transversales entre les différentes tâches de sensibilité visent à examiner si les enfants présentent des indices comportementaux différenciés selon le type de régularité (DA vs DNA à 18 mois) et selon la nature du stimulus (DNA en langage artificiel vs en langue maternelle à 27 mois) (Erickson & Thiessen, 2015), notamment en ce qui concerne la direction des préférences. En effet, les stimuli les plus facilement traités ou associés aux représentations les plus robustes tendent à donner lieu à un effet de nouveauté, tandis que des stimuli plus difficiles ou aux représentations moins solidement ancrées peuvent s'accompagner d'un effet de familiarité (Hunter & Ames, 1988). Sur la base des effets anticipés au chapitre 2, une préférence pour la nouveauté était attendue pour les tâches en langage artificiel, ce qui aurait dû se traduire par des corrélations positives entre ces tâches à 18 mois. La direction des effets pour la tâche en langue maternelle étant incertaine a priori, la direction des corrélations

impliquant cette tâche restait indéterminée. Par ailleurs, dans la mesure où DA et DNA sont susceptibles de mobiliser des mécanismes partiellement distincts, des corrélations faibles ou nulles entre la tâche DA et les tâches DNA pouvaient être attendues. Toutefois, l'absence d'effets significatifs au niveau du groupe dans l'ensemble des tâches invite à aborder ces analyses corrélationnelles avec prudence et dans un esprit exploratoire, sans présupposer de direction particulière.

Au-delà des relations entre tâches d'AS, les analyses transversales visent également à examiner les liens entre la sensibilité aux régularités statistiques et les compétences langagières évaluées au même âge. Plus spécifiquement, il s'agit d'examiner si la sensibilité aux DA serait préférentiellement associée au développement lexical, sur la base de travaux suggérant que l'extraction de régularités locales contribue à la segmentation du flux de parole et à la consolidation des premières représentations phono-lexicales (par ex., Erickson & Thiessen, 2015 ; Graf Estes et al., 2007). Parallèlement, la question d'un lien privilégié entre la sensibilité aux DNA et le développement morphosyntaxique se pose, en cohérence avec des études montrant que le traitement de dépendances à distance joue un rôle clé dans l'acquisition de structures grammaticales (par ex., Erickson & Thiessen, 2015 ; Santelmann & Jusczyk, 1998).

Si une association entre AS et développement langagier est suggérée par la littérature, la forme précise de cette relation reste ouverte. Les analyses pourraient révéler des associations linéaires, dans lesquelles une sensibilité plus marquée aux DA et aux DNA serait respectivement associée à un vocabulaire plus étendu et à des compétences morphosyntaxiques plus développées. Elles pourraient également mettre en évidence des différences dans la direction des effets, avec un effet de nouveauté chez les enfants présentant les compétences langagières les plus avancées et un effet de familiarité chez ceux présentant un niveau langagier plus faible, conformément au modèle de Hunter et Ames (1988).

Ces analyses transversales constituent ainsi une première étape dans l'examen des liens entre AS et développement langagier. Elles permettent d'explorer la spécificité des régularités traitées et leurs associations immédiates avec les compétences linguistiques, avant d'aborder, dans la section suivante, la question de la stabilité de ces capacités et de leur valeur prédictive au travers des relations longitudinales.

5.1.2. Relations longitudinales

L'intérêt pour l'examen des relations longitudinales émerge de modèles et de travaux suggérant que l'AS est l'un des mécanismes qui pourraient soutenir différentes composantes du développement langagier, telles que le lexique ou la morphosyntaxe (Erickson & Thiessen, 2015). Plusieurs études, y compris chez des enfants francophones, indiquent que la sensibilité précoce à des régularités non adjacentes du signal linguistique pourrait être mobilisée dès les premières étapes de l'acquisition de structures morphosyntaxiques (Culbertson et al., 2016 ; Nazzi et al., 2011 ; van Heugten & Shi, 2010). Néanmoins, le rôle exact de l'AS dans le développement ultérieur du langage reste non élucidé et semble dépendre à la fois du type de régularités considéré, des composantes langagières évaluées et de la période développementale étudiée (Arnon, 2020 ; Isbilen & Christiansen, 2022). La question de savoir si les capacités d'AS précoces constituent un prédicteur du développement grammatical demeure ainsi largement ouverte.

Dans ce contexte, ce chapitre vise principalement à examiner dans quelle mesure les capacités précoces d'AS — et plus particulièrement celles impliquées dans le traitement des DNA — seraient associées au développement morphosyntaxique ultérieur. Plus précisément, l'objectif est de regarder si les performances aux tâches de DA et de DNA mesurées à 18 et 27 mois présentent des associations longitudinales avec les compétences morphosyntaxiques évaluées à 40 mois. Ces compétences sont appréhendées à la fois à travers des tâches expérimentales de compréhension et de production morphosyntaxiques ciblant les mêmes types de structures à DNA que celles manipulées dans les paradigmes d'AS, et au moyen de mesures parentales et standardisées, incluant le questionnaire DLPF et des épreuves d'EXAlang 3–6. L'objectif est ainsi d'évaluer la valeur prédictive des capacités d'AS sur une période développementale d'environ deux ans, et d'apporter des éléments empiriques à l'hypothèse d'un rôle des mécanismes d'AS dans l'émergence et la consolidation des compétences morphosyntaxiques.

Ce chapitre s'attache également à explorer les relations entre les performances aux différentes tâches d'AS aux âges successifs, afin d'en examiner la stabilité développementale. Cette question est centrale dans la littérature sur l'AS, bien que les résultats disponibles demeurent hétérogènes, notamment en raison de la fiabilité limitée des mesures comportementales chez le jeune enfant (Arnon, 2020 ; Isbilen & Christiansen, 2022 ; Siegelman et al., 2017).

Les analyses présentées ici sont de nature exploratoire. Elles doivent être interprétées avec prudence compte tenu de la taille restreinte de l'échantillon pour ce type d'analyse, de l'absence d'effets de grammaticalité robustes au niveau du groupe, de la sensibilité limitée des paradigmes comportementaux de sensibilité aux régularités statistiques au niveau individuel et du nombre relativement élevé de mesures développementales analysées. L'objectif ici est donc d'identifier des schémas émergents et des tendances cohérentes susceptibles d'éclairer les relations entre AS et développement morphosyntaxique et de guider de futures recherches.

Pour ces analyses préliminaires, des corrections pour comparaisons multiples ont été appliquées quand une corrélation significative était présente. Une attention particulière sera portée à la cohérence théorique des tendances observées, à la direction des effets (positive vs négative) et à la convergence potentielle d'indices indépendants, sans en tirer des conclusions non suffisamment fondées.

La suite du chapitre décrit d'abord la méthodologie retenue pour explorer les relations entre performances d'AS et indices langagiers aux différents âges. Ensuite, les résultats sont présentés (sur les plans transversal et longitudinal) et suivis d'une discussion intermédiaire qui met en perspective les effets observés, leurs limites et leurs implications pour la compréhension du rôle de l'AS dans le développement de la morphosyntaxe.

5.2. Méthode

Cette section décrit et commente les variables et les analyses utilisées pour examiner les relations entre capacités d'AS évaluées à 18 et 27 mois et compétences langagières mesurées à 18, 27 et 40 mois, ainsi qu'entre les différentes tâches expérimentales. Les analyses portent d'abord sur les relations au même âge, puis entre des âges distincts.

5.2.1. Indices d'apprentissage statistique

Les analyses transversales et longitudinales reposent sur les mêmes indices d'AS, c'est à-dire des effets de préférence pour les stimuli familiers (ou grammaticaux) versus nouveaux (ou non grammaticaux), issus des tâches de sensibilité aux régularités adjacentes et non adjacentes administrées à différents âges, à savoir :

- DA-18m : indice de sensibilité aux dépendances adjacentes en langage artificiel ;
- DNA-18m et DNA-27m : indice de sensibilité aux dépendances non adjacentes en langage artificiel ;

- DNAfr-27m : indice de sensibilité aux dépendances non adjacentes en français.

Pour l'ensemble de ces tâches d'AS, la variable retenue est une taille d'effet individuelle, le *g* de Hedges, telle que proposée par Frost et al. (2020). Ce coefficient quantifie, pour chaque enfant, la différence entre les moyennes des temps de regard aux essais grammaticaux et non grammaticaux, normalisée par un écart-type groupé. Un coefficient *g* positif signifie que l'enfant a regardé davantage les essais grammaticaux (préférence pour la familiarité), tandis qu'un coefficient négatif indique l'inverse (préférence pour la nouveauté).

Le *g* de Hedges a été privilégié au *d* de Cohen car il inclut un facteur de correction réduisant le biais lié aux petites tailles d'échantillon, ce qui le rend particulièrement adapté aux données développementales (Hedges, 1981). Sa normalisation par un écart-type groupé assure en outre une bonne comparabilité des mesures entre enfants et entre tâches. Les coefficients individuels de *g* sont fournis en Annexe D.

5.2.2. Mesures morphosyntaxiques expérimentales à 40 mois

Dans le cadre des analyses longitudinales, deux mesures issues des tâches expérimentales administrées à 40 mois, dont les scores bruts totaux, ont également été utilisées :

- Compréhension morphosyntaxique – 40 mois : score à la tâche de pointage ;
- Production morphosyntaxique – 40 mois : score à la tâche d'élicitation.

Ces scores constituent des indices des compétences morphosyntaxiques de l'enfant, ciblant les mêmes types de structures à DNA que celles manipulées dans les tâches d'AS.

5.2.3. Mesures développementales issues des questionnaires parentaux et des épreuves standardisées

Les compétences langagières des enfants ont été évaluées au moyen de questionnaires parentaux et d'épreuves standardisées, utilisés selon l'âge. À 18 et 27 mois, les analyses reposent sur trois scores issus de l'Inventaire Français du Développement Communicatif (IFDC ; Kern & Gayraud, 2018) :

- Vocabulaire : nombre total de mots produits (liste de 690 mots), utilisé comme indice général du développement lexical ;
- Combinaison de mots : score brut correspondant au nombre de structures morphosyntaxiques produites correctement plus fréquemment qu'une forme incorrecte (par ex., *les chiens sont là* vs *les chiens est là*, 16 items) ;
- Longueur moyenne maximale d'énoncé (LME) : moyenne du nombre de mots des trois énoncés les plus longs rapportés par les parents.

Le nombre total de mots produits a été retenu afin d'examiner le lien entre la sensibilité aux DA et le développement lexical. Le score Combinaison de mots et la LME ont été choisis comme indices du développement de la morphosyntaxe, afin d'explorer leur lien avec les DNA. Le score Combinaison de mots documente spécifiquement la production de structures morphosyntaxiques, dont certaines sont directement ciblées dans nos tâches expérimentales, tandis que la LME constitue un indice reconnu pour sa sensibilité et ses liens étroits avec le développement morphosyntaxique chez le jeune enfant (Veneziano, 2019).

À 40 mois, les analyses intègrent des mesures issues de deux autres outils :

- le DLDPF (Bassano et al., 2020), à travers les sections Vocabulaire (nombre total de mots produits), Formes verbales régulières (score basé sur une échelle de fréquence en trois points, 1 point attribué pour les réponses *quelquefois* ou *souvent*), Structures complexes (nombre de structures produites correctement) ;
- l'EXAlang 3–6 (Helloin & Thibault, 2006), incluant des épreuves de compréhension lexicale, production lexicale, compréhension morphosyntaxique, production morphosyntaxique et répétition de phrases.

Pour l'ensemble des mesures développementales, les scores bruts ont été utilisés, plutôt que les écarts-types, les rangs ou les scores standards, car ils reflètent directement les performances langagières des enfants et leur variabilité interindividuelle. Les enfants de l'échantillon étant d'un âge très homogène, les scores bruts constituent les variables les plus sensibles et les plus appropriées pour les analyses envisagées.

De plus, les données n'ont pas été transformées. Une transformation logarithmique aurait pu être envisagée afin de rapprocher certaines distributions de la normalité et de permettre le recours à des tests paramétriques. Toutefois, ce type de transformation n'est pas toujours adapté à des données développementales présentant des asymétries marquées, et aurait complexifié l'interprétation des scores et des associations observées. Le recours à des tests non paramétriques a donc été privilégié, permettant de respecter la structure des données tout en conservant l'interprétabilité des scores. Les données descriptives concernant la distribution de chaque variable sont proposées dans la section Résultats ci-dessous.

5.3. Résultats

Cette section présente les statistiques descriptives des données, puis les résultats des analyses examinant les relations entre les indices d'AS et les mesures du développement langagier. Les résultats sont organisés en distinguant les analyses transversales et longitudinales.

5.3.1. Statistiques descriptives

Le Tableau 7 présente l'ensemble des statistiques descriptives et les résultats des tests de normalité de la distribution des variables utilisées pour les analyses transversales et longitudinales.

Les relations entre indices de sensibilité aux régularités linguistiques et indices du développement langagier ont été examinées au moyen de corrélations de Spearman — mesure non paramétrique basée sur le rang des valeurs — pour trois raisons : un peu plus de la moitié des variables ne suit pas une distribution normale ; Spearman fournit une estimation robuste des relations monotoniques, adaptée aux échantillons de taille réduite ; et ce choix permet d'homogénéiser la méthode à travers toutes les analyses.

À titre exploratoire, les résultats présentés dans les tableaux ne sont pas corrigés pour les comparaisons multiples, afin de limiter le risque d'erreur de type II — c'est-à-dire de ne pas masquer des effets potentiellement intéressants mais fragiles. Toutefois, lorsqu'une corrélation s'avère significative, une correction de Benjamini-Hochberg est appliquée — celle-ci contrôle le taux de fausses découvertes (False Discovery Rate, FDR ; Benjamini & Hochberg, 1995), offrant un compromis entre contrôle du risque d'erreur de type I et puissance statistique — et la p-valeur corrigée est indiquée.

Les ajustements ont été réalisés séparément au sein de cinq familles de comparaisons conceptuellement distinctes. Les deux premières, de nature transversale, portent sur les relations entre les tâches d'AS aux mêmes âges, d'une part, et les relations entre les tâches d'AS et les mesures langagières parentales issues de l'IFDC aux mêmes âges, d'autre part. Les trois familles suivantes sont longitudinales et examinent respectivement les relations entre les tâches d'AS aux différents âges, les relations entre les tâches d'AS et les performances morphosyntaxiques expérimentales à 40 mois, les relations entre les tâches d'AS et les mesures parentales issues du DLPI à 40 mois, ainsi que les mesures standardisées issues de l'EXALang au même âge.

Tableau 7
Normalité de la distribution des variables

Tâche	N	Mdn	IIQ	Variable	Test de Shapiro-Wilk	Normalité de la distribution
DA-18m	28	0.03	[-0.45 ; 0.44]	g de Hedges	W = 0.96 p = .367	Oui
DNA-18m	29	0.04	[-0.29 ; 0.38]	g de Hedges	W = 0.90 p = .011	Non
DNA-27m	31	0.07	[-0.29 ; 0.45]	g de Hedges	W = 0.97 p = .493	Oui
DNAfr-27m	26	0.17	[-0.11 ; 0.47]	g de Hedges	W = 0.95 p = .188	Oui
Compréhension 40m	30	15.50	[14.00 ; 18.00]	Score brut	W = 0.96 p = .299	Oui
Production 40m	27	8.00	[6.00 ; 10.50]	Score brut	W = 0.94 p = .117	Oui
IFDC Vocabulaire 18m	40	35.50	[11.00 ; 87.50]	nb de mots	W = 0.83 p < .001	Non
IFDC Combinaison 18m	40	1.00	[0.00 ; 2.00]	nb de structures	W = 0.83 p < .001	Non
IFDC LME 18m	40	1.50	[1.00 ; 2.30]	nb de mots	W = 0.83 p < .001	Non
IFDC Combinaison 27m	36	4.50	[2.75 ; 11.75]	nb de structures	W = 0.81 p < .001	Non
IFDC LME 27m	31	4.70	[3.30 ; 6.70]	nb de mots	W = 0.95 p = .185	Oui
DLPF 40m Total vocabulaire	30	1243.00	[1036.00 ; 1358.00]	nb de mots	W = 0.91 p = .020	Non
DLPF 40m Formes verbales	30	12.00	[11.00 ; 14.00]	nb de structures	W = 0.91 p = .013	Non
DLPF 40m Struct. complexes	30	31.00	[29.25 ; 32.00]	nb de structures	W = 0.73 p < .001	Non
EXAlang 40m Compr. Lexique	30	35.00	[34.00 ; 35.00]	Score brut	W = 0.86 p < .001	Non
EXAlang 40m Production Lexique	30	35.00	[34.00 ; 36.00]	Score brut	W = 0.31 p < .001	Non
EXAlang 40m Compr. MS	30	8.00	[7.00 ; 9.75]	Score brut	W = 0.95 p = .136	Oui
EXAlang 40m Production MS	29	19.00	[16.00 ; 21.00]	Score brut	W = 0.94 p = .087	Oui
EXAlang 40m Répét. de phrase	30	21.00	[18.25 ; 23.00]	Score brut	W = 0.89 p = .005	Non

Note. N = nombre maximal d'enfants pour lesquels la variable est disponible. Le nombre d'enfants varie légèrement selon les analyses en raison de données manquantes ; les conclusions relatives à la normalité des distributions sont inchangées selon les sous-échantillons considérés. Mdn = médiane ; IIQ = intervalle interquartile ; LME = longueur moyenne de l'énoncé ; W = statistique du test de Shapiro-Wilk ; p = p-valeur.

5.3.2. Résultats des analyses transversales

Sur le plan transversal, un premier groupe d'analyses porte sur les relations entre les performances aux différentes tâches d'AS administrées au même âge, en fonction du type de dépendances (DA-18m et DNA-18m) et de la nature du stimulus (DNA-27m et DNAfr-27m), afin d'explorer la spécificité des mécanismes mobilisés par l'AS. Un second groupe d'analyses examine les relations entre la sensibilité aux régularités statistiques et les compétences langagières évaluées au même âge au moyen des questionnaires parentaux (par ex., DNA-27m et IFDC à 27 mois), afin d'examiner les associations immédiates entre AS et développement langagier, tant sur le plan lexical que morphosyntaxique.

Relations entre mesures d'AS au même âge. À 18 mois, la corrélation entre les deux tâches expérimentales de sensibilité aux dépendances adjacentes et non adjacentes (DA-18m et DNA-18m) n'est pas significative ($\rho = 0.12, p = .300$), et il en va de même à 27 mois pour les deux tâches portant sur des dépendances non adjacentes, en langage artificiel et en français (DNA-27m et DNAfr-27m : $\rho = 0.08, p = .355$).

Relations entre mesures d'AS et développement langagier au même âge. L'ensemble des résultats des corrélations est présenté dans le Tableau 8. À 18 mois, aucune association significative n'a été observée entre la sensibilité aux DA et le lexique productif. En revanche, les résultats mettent en évidence des liens plus consistants entre la tâche DNA-18m et certains indices du développement morphosyntaxique : la performance à DNA-18m est significativement associée au score Combinaison de l'IFDC, indiquant que les enfants qui produisent davantage de structures morphosyntaxiques correctes sont également ceux qui tendent à montrer une préférence pour les stimuli familiers (le diagramme de dispersion est présenté en Figure 4). Ce coefficient correspond à une taille d'effet faible à modérée selon les standards usuels (Cohen, 1988 ; Gignac & Szodorai, 2016). Cependant, une fois la p-valeur ajustée pour les corrélations multiples (Benjamini–Hochberg, $m = 7$), la corrélation entre DNA-18m et la mesure Combinaison à 18 mois n'est plus significative ($q_{BH} = .159$).

Tableau 8

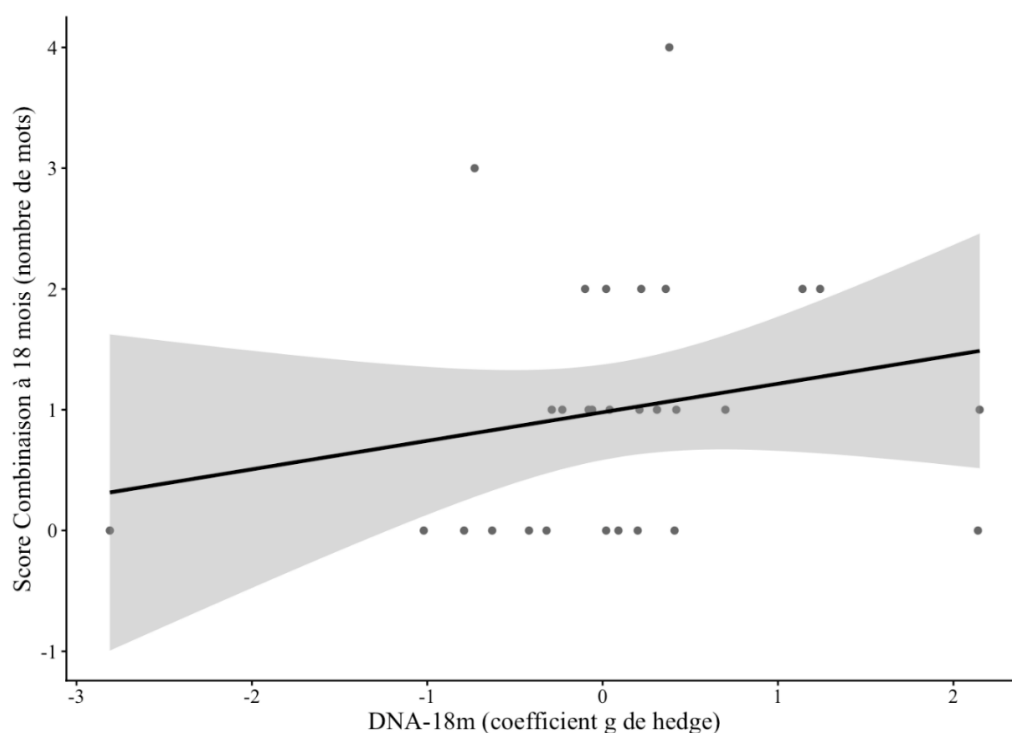
Corrélations de Spearman (non corrigées) entre les tâches d'apprentissage statistique à 18 et 27 mois et les mesures langagières parentales au même âge⁸

	DA 18 m		DNA 18 m		DNA 27 m		DNAfr 27 m	
	ρ	p	ρ	p	ρ	p	ρ	p
IFDC Vocabulaire 18 m	-0.15	.216						
IFDC LME 18 m			0.28	.068				
IFDC Combinaison 18 m			0.33	.041*				
IFDC LME 27 m					-0.28	.066	0.05	.408
IFDC Combinaison 27 m					-0.23	.103	-0.06	.385

Note. m = mois. ρ = coefficient de corrélation de Spearman. p = p-valeur, $*p \leq .05$. Les relations significatives sont indiquées en gras.

Figure 4

Diagramme de dispersion de la relation entre la sensibilité à la tâche DNA-18m et le score Combinaison de l'IFDC à 18 mois



⁸ Les mesures langagières du questionnaire parental corrélaient entre elles à 18 et à 27 mois : le nombre de mots produits est fortement corrélé à la longueur moyenne d'énoncé (respectivement $\rho = 0.75, p < .001$ et $\rho = 0.80, p < .001$), comme au score Combinaison ($\rho = 0.73, p < .001$ et $\rho = 0.86, p < .001$), et ces deux derniers indices sont eux-mêmes fortement associés ($\rho = 0.75, p < .001$ et $\rho = 0.86, p < .001$). Ces résultats sont en faveur d'une bonne cohérence interne du questionnaire.

À 27 mois, les corrélations entre mesures d'AS et mesures développementales ne révèlent pas non plus d'association significative. La sensibilité à la tâche DNA-27m n'est pas significativement corrélée à la LME ni au score Combinaison. De même, la sensibilité à la tâche DNAfr-27m n'est corrélée ni à la LME, ni au score Combinaison. L'ensemble des résultats des corrélations est également présenté dans le Tableau 8.

5.3.3. Résultats des analyses longitudinales

Sur le plan longitudinal, un premier groupe d'analyses concerne les relations entre l'AS précoce et l'AS ultérieur (par ex., DNA-18m et DNA-27m), afin d'examiner la continuité des performances d'AS d'un âge à l'autre. Un deuxième groupe d'analyses longitudinales porte sur les relations entre l'AS précoce et les performances morphosyntaxiques expérimentales évaluées à 40 mois (par ex., DNAfr-27m et tâche de compréhension morphosyntaxique), afin d'explorer si la sensibilité précoce aux DNA est associée à la capacité ultérieure de compréhension et de production de structures morphosyntaxiques similaires. Enfin, un troisième groupe d'analyses longitudinales examine les relations entre l'AS précoce et les mesures de développement langagier issues des questionnaires parentaux à 27 et 40 mois, et des épreuves standardisées à 40 mois (par ex., DNA-18m et DLPF et EXAlang), afin d'évaluer la valeur prédictive des capacités précoces d'AS vis-à-vis du développement lexical et morphosyntaxique ultérieur. Il est à noter que pour DNA-27m, les analyses n'ont pas été réalisées isolément sur le second bloc, malgré l'effet trouvé spécifiquement sur ce bloc au chapitre 3, en raison du nombre de données trop restreint subsistant.

Relations longitudinales entre mesures d'AS. L'ensemble des résultats est présenté dans le Tableau 9. Une seule corrélation significative est présente, entre DNA-18m et DNA-27m avec une relation modérée négative entre les deux mesures, indiquant que les enfants qui ont montré une tendance à préférer les stimuli familiers à 18 mois, ont montré une tendance à préférer pour les stimuli nouveaux à 27m (le diagramme de dispersion est présenté en Figure 5). Cependant, une fois les p-valeurs ajustées pour les corrélations multiples (Benjamini–Hochberg, $m = 4$), la corrélation n'est plus significative ($q_{BH} = .084$). Aucune autre corrélation notable n'est observée.

Tableau 9

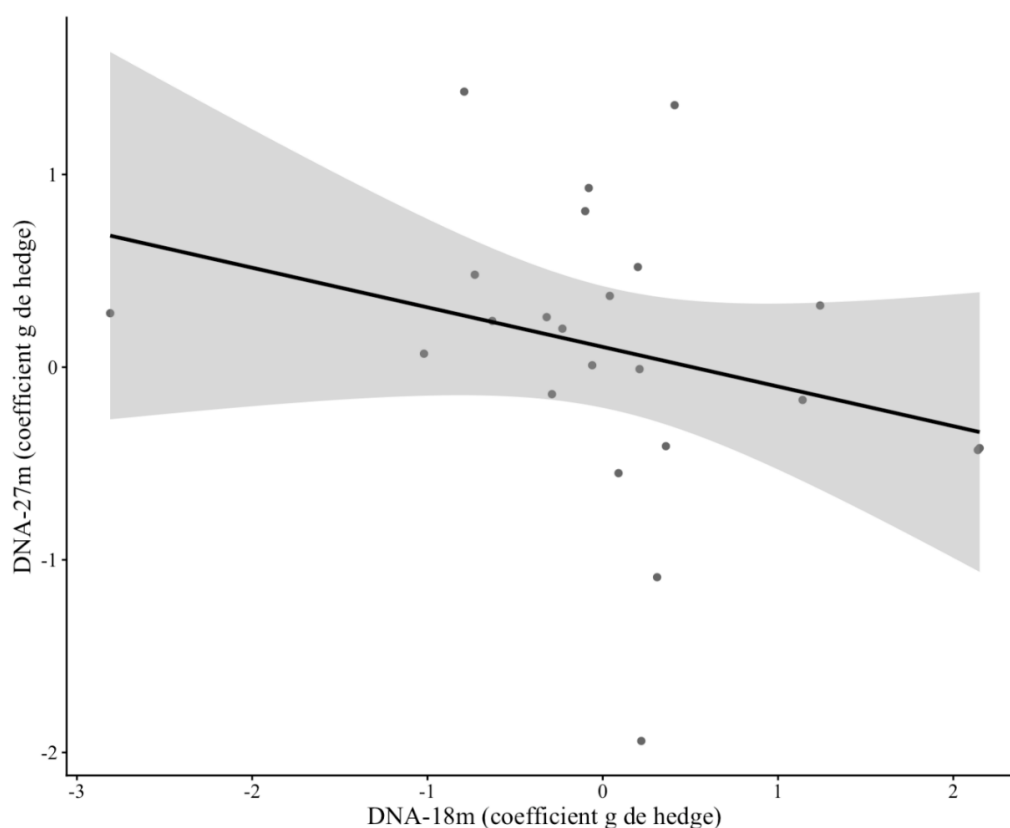
Corrélations de Spearman (non corrigées) entre les tâches d'AS aux différents âges

	DNA 27 m		DNAfr 27 m	
	ρ	p	ρ	p
DA 18 m	0.30	.085	-0.12	.302
DNA 18 m	-0.43	.021*	-0.14	.296

Note. m = mois. ρ = coefficient de corrélation de Spearman. p = p-valeur, $*p \leq .05$. Les relations significatives sont indiquées en gras.

Figure 5

Diagramme de dispersion de la relation entre la sensibilité aux tâches DNA-18m et DNA-27m



Relations entre AS précoce et mesures morphosyntaxiques expérimentales à 40 mois. L'ensemble des résultats est présenté dans le Tableau 10 ci-dessous. Les relations entre AS et performances morphosyntaxiques à 40 mois sont globalement faibles. Une seule corrélation significative est observée : DNAfr-27m est fortement et positivement associée à la compréhension morphosyntaxique à 40 mois (le diagramme de dispersion est présenté en Figure 6). Cette corrélation demeure significative après ajustement de la p-valeur pour les corrélations multiples (Benjamini-Hochberg, $m = 6$, $qBH = .018^*$). En revanche, aucune

relation n'est observée avec la production. Les résultats aux tâches DNA-18m et DNA-27m ne corrélient également pas significativement avec la compréhension ou la production morphosyntaxiques.

Tableau 10

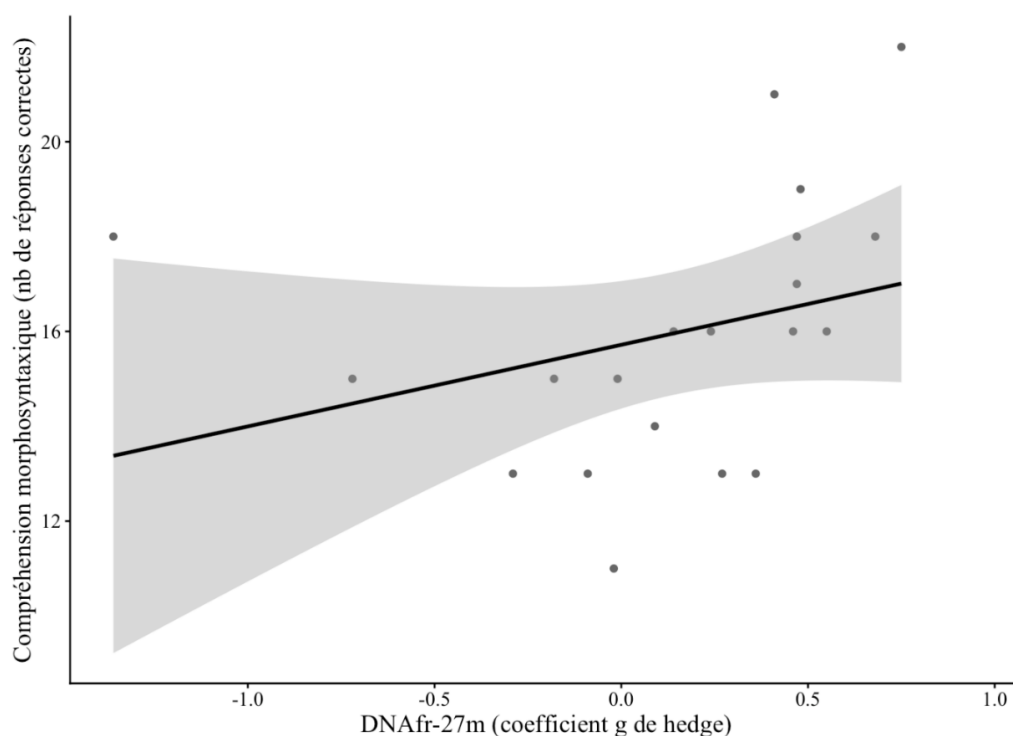
Corrélations de Spearman (non corrigées) entre les tâches d'AS à 18 et 27 mois et les performances aux tâches expérimentales morphosyntaxiques à 40 mois

	DNA 18 m		DNA 27 m		DNAfr 27 m	
	ρ	p	ρ	p	ρ	p
Compréhension 40 m	-0.10	.340	0.01	.483	0.59	.003**
Production 40 m	0.36	.079	-0.20	.179	-0.01	.513

Note. m = mois. ρ = coefficient de corrélation de Spearman. p = p-valeur, ** $p \leq .01$. Les relations significatives sont indiquées en gras.

Figure 6

Diagramme de dispersion de la relation entre la sensibilité aux tâches DNAfr-27m et de compréhension morphosyntaxique expérimentale



Relations entre AS précoce et questionnaires parentaux à 40 mois. L'ensemble des résultats est présenté dans le Tableau 11. La tâche DNA-27m est significativement corrélée au score Structures complexes avec un coefficient négatif de taille modérée, indiquant que les

enfants qui produisent davantage de structures complexes correctes sont également ceux qui tendent à montrer une préférence pour les stimuli nouveaux (le diagramme de dispersion est présenté en Figure 7). De plus, une fois la p-valeur ajustée pour les corrélations multiples (Benjamini–Hochberg, $m = 7$), la corrélation demeure significative ($qBH = .049^*$). Aucune autre relation significative n’est observée.

Tableau 11

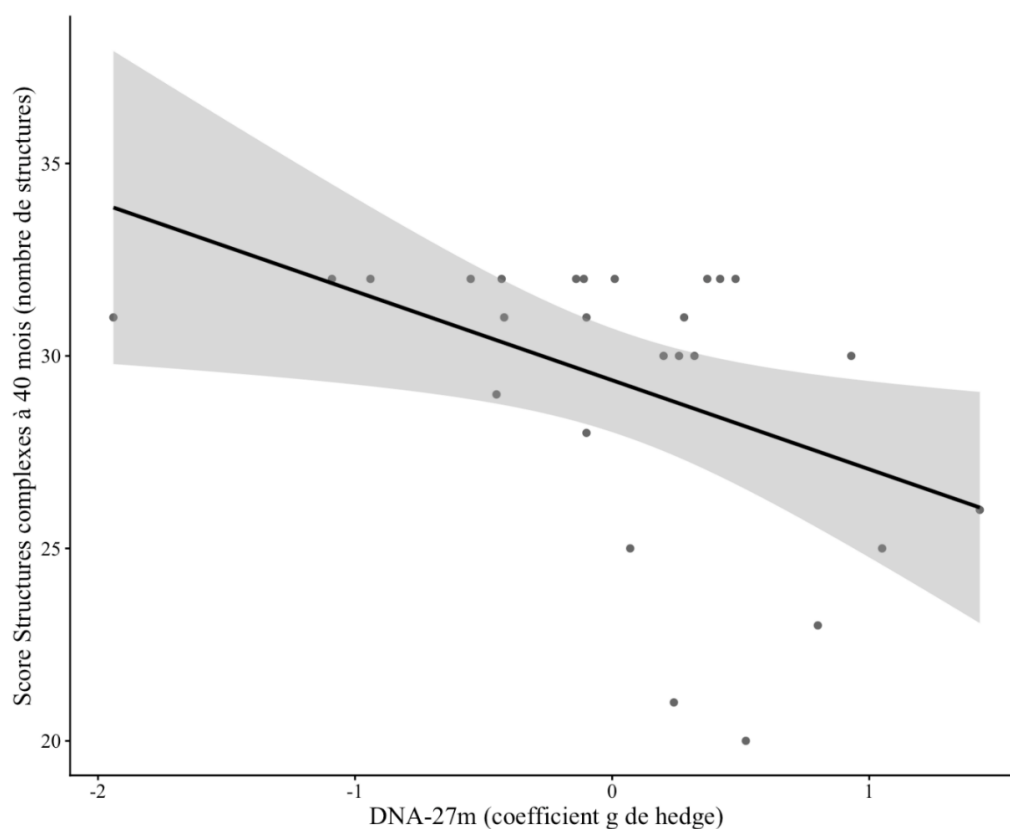
Corrélations de Spearman (non corrigées) entre les tâches d’AS à 18 et 27 mois et les mesures langagières parentales à 40 mois

	DA 18 m		DNA 18 m		DNA 27 m		DNAfr 27 m	
	ρ	p	ρ	p	ρ	p	ρ	p
DLPF Total vocabulaire	-0.03	.450						
DLPF Formes verbales			0.31	.092	-0.29	.079	-0.07	.389
DLPF Structures complexes			0.33	.078	-0.47	.007**	-0.26	.139

Note. MS = morphosyntaxe. m = mois. ρ = coefficient de corrélation de Spearman. p = p-valeur, ** $p \leq .01$. Les relations significatives sont indiquées en gras.

Figure 7

Diagramme de dispersion de la relation entre la sensibilité à la tâche DNA-27m et le score Structures complexes à 40 mois



Relations entre AS précoce et mesures développementales standardisées à 40 mois.

L'ensemble des résultats est présenté dans le Tableau 12. Les mesures lexicales et morphosyntaxiques standardisées d'EXAlang ne montrent aucune corrélation significative avec les indices d'AS.

Tableau 12

Corrélations de Spearman (non corrigées) entre les tâches d'AS à 18 et 27 mois et les mesures langagières standardisées à 40 mois

	DA 18 m		DNA 18 m		DNA 27 m		DNAfr 27 m	
	ρ	p	ρ	p	ρ	p	ρ	p
EXAlang Compréhension Lexique	0.12	.306						
EXAlang Production Lexique	-0.05	.425						
EXAlang Compréhension MS			0.26	.131	-0.12	.279	0.24	.151
EXAlang Production MS			-0.04	.443	-0.29	.076	0.27	.129
EXAlang Répétition de phrase			0.23	.168	-0.22	.137	0.26	.132

Note. MS = morphosyntaxe. m = mois. ρ = coefficient de corrélation de Spearman. p = p-valeur.

5.4. Discussion

Ce chapitre avait pour objectif d'examiner les relations entre les capacités d'AS et le développement langagier, en considérant à la fois des analyses transversales et longitudinales, à différents âges et à partir de différents types de régularités et de stimuli. Dans l'ensemble, les résultats ne mettent pas en évidence de relations robustes et généralisées entre les différents indices d'AS, ainsi qu'avec les mesures langagières, mais révèlent des associations limitées et sélectives.

5.4.1. Relations transversales : limites et portée des associations observées

Relations entre indices de sensibilité aux différentes tâches d'AS. À 18 mois, aucune corrélation significative n'est observée entre les tâches de sensibilité aux DA et aux DNA. Cette absence d'association ne permet pas de conclure à une dépendance ou à une indépendance des mécanismes impliqués dans le traitement de ces deux types de régularités, et indique qu'à cet âge les performances aux différentes tâches d'AS ne covarient pas de manière systématique.

À 27 mois, aucune corrélation significative n'est observée entre les deux tâches portant sur des DNA, en langage artificiel et en langue maternelle. Bien que la tâche en langage artificiel montre un indice d'apprentissage limité et circonscrit à un bloc spécifique, cet effet demeure fragile et ne s'accompagne pas d'une covariation avec la tâche équivalente en français.

Ces résultats suggèrent que les indices de sensibilité issus des différentes tâches d'AS ne présentent pas de relations transversales robustes à 18 comme à 27 mois. L'absence de corrélation systématique suggère que les tâches ne capturent pas, à ces âges, des différences interindividuelles convergentes susceptibles de refléter un mécanisme commun mesuré de

façon stable. Ces constats invitent à interpréter avec prudence les comparaisons entre tâches, en particulier lorsqu'elles diffèrent par le type de régularité ou par la nature du stimulus.

Dans l'ensemble, les analyses transversales entre tâches d'AS ne mettent pas en évidence de relations claires permettant de trancher quant au rôle spécifique du type de régularité ou du matériau linguistique. Elles suggèrent plutôt une faible convergence des indices comportementaux à ces âges, ce qui limite la portée des inférences pouvant être tirées à partir des corrélations entre tâches au sein de cette famille d'analyses.

Relations entre indices de sensibilité aux régularités statistiques et mesures de développement langagier. À 18 mois, aucune association significative n'est observée entre la sensibilité aux DA et la taille du lexique productif. En revanche, la sensibilité aux DNA présente une association modeste et fragile avec le score Combinaison. Cet effet demeure de faible amplitude et ne résiste pas à l'ajustement pour comparaisons multiples.

À 27 mois, aucune association significative n'est observée entre la sensibilité aux DNA en langage artificiel ou en langue maternelle et les mesures morphosyntaxiques parentales. Il est toutefois intéressant de noter que les coefficients observés sont de direction négative, suggérant que les enfants présentant les compétences morphosyntaxiques les plus avancées auraient tendance à manifester une préférence pour les items non grammaticaux ou non familiers à cet âge.

Ces résultats suggèrent que les relations transversales entre sensibilité aux régularités statistiques et développement langagier sont limitées et dépendantes de l'âge. Les associations observées à 18 mois entre la sensibilité aux DNA et certains indices morphosyntaxiques peuvent refléter un lien émergent entre le traitement des régularités non adjacentes et la structuration grammaticale précoce, tandis que l'inversion de la direction des coefficients à 27 mois (bien que pour des associations non significatives) pourrait suggérer une évolution développementale dans la manière dont ces régularités sont traitées.

Dans l'ensemble, les analyses transversales ne mettent pas en évidence de relations stables et généralisées entre AS et développement langagier. Elles suggèrent plutôt des associations ponctuelles à des niveaux développementaux spécifiques, principalement pour les DNA au début de l'acquisition morphosyntaxique, dont la portée reste limitée dans le cadre des paradigmes utilisés.

5.4.2. Analyses longitudinales : continuité limitée et effets spécifiques

Relations entre indices de sensibilité aux différentes tâches d'AS. Sur le plan longitudinal, une seule relation significative a été observée entre les mesures d'AS évaluées à 18 et à 27 mois, indiquant une continuité limitée des performances d'AS au cours de cette période. La seule corrélation présente est entre la sensibilité aux DNA en langage artificiel à 18 et à 27 mois. Cet effet est de taille modérée, de direction négative et ne résiste pas à l'ajustement pour comparaisons multiples.

La corrélation négative observée indique que les enfants ayant montré une tendance à préférer les stimuli familiers à 18 mois tendent à manifester une préférence pour les stimuli nouveaux à 27 mois. Ce changement dans la direction des préférences suggère une évolution qualitative des réponses comportementales.

Dans le cadre du modèle attentionnel de préférence (Culbertson et al., 2016 ; Hunter & Ames, 1988), une telle inversion directionnelle est généralement interprétée comme le reflet d'une consolidation progressive des représentations, plutôt que comme un indicateur de performance accrue au sens strict. Les variations dans la direction des préférences pourraient ainsi être informatives sur le plan développemental, même en l'absence de continuité quantitative des indices de sensibilité.

Cette interprétation est cohérente avec les changements observés dans la direction des associations entre la sensibilité aux tâches d'AS et les indices de développement morphosyntaxique aux différents âges : à 18 mois, une association positive est observée entre la sensibilité aux DNA en langage artificiel et un des indices morphosyntaxiques, tandis qu'à 27 mois et ultérieurement, des tendances négatives apparaissent entre la sensibilité aux DNA en langage artificiel et les mesures morphosyntaxiques, y compris une association significative avec la section Structures complexes à 40 mois.

Dans l'ensemble, les analyses longitudinales ne mettent pas en évidence une stabilité des performances d'AS entre 18 et 27 mois, mais suggèrent plutôt des changements développementaux dans la forme des préférences comportementales. Ces résultats indiquent que la direction des réponses dans les tâches de sensibilité pourrait constituer un indice développemental pertinent, tout en soulignant la difficulté d'interpréter les corrélations longitudinales comme des marqueurs stables des capacités d'AS à ces âges.

Relations entre indices de sensibilité aux régularités statistiques et mesures de développement langagier. Parmi les relations examinées entre les indices d'AS précoces et les performances morphosyntaxiques expérimentales évaluées à 40 mois, une seule association apparaît significative : la corrélation positive et forte entre la sensibilité aux DNA en français à 27 mois (DNAfr-27m) et la compréhension morphosyntaxique à 40 mois. En revanche, aucune association significative n'est observée entre les indices d'AS mesurés à 18 ou à 27 mois en langage artificiel et les performances en compréhension morphosyntaxique. De même, aucune corrélation significative n'est mise en évidence avec la production morphosyntaxique expérimentale, y compris pour la tâche DNAfr-27m.

Les mesures parentales issues du DLPF montrent un schéma d'associations hétérogène. L'indice lexical ne présente aucune relation significative avec les mesures d'AS précoces. De même, des tendances positives modérées, mais non significatives, sont observées entre la sensibilité aux DNA à 18 mois et les indices morphosyntaxiques des questionnaires parentaux (Formes verbales et Structures complexes). À 27 mois, une corrélation négative modérée et significative est observée entre la sensibilité aux DNA en langage artificiel et le score Structures complexes à 40 mois, accompagnée d'une tendance négative avec le score Formes verbales. Aucune corrélation significative n'est observée entre les indices d'AS précoces et les mesures lexicales ou morphosyntaxiques standardisées issues de l'EXAlang, tant en compréhension qu'en production.

Ces résultats suggèrent que les associations longitudinales entre AS et développement langagier sont limitées et sélectives. L'association positive robuste observée entre la sensibilité aux DNA en langue maternelle à 27 mois et la compréhension morphosyntaxique expérimentale à 40 mois suggère que la proximité entre le type de régularité, la nature du stimulus et les compétences (réceptives) évaluées joue un rôle déterminant dans l'émergence de relations longitudinales.

Les associations observées avec les mesures parentales, bien que hétérogènes et en partie de direction négative, s'inscrivent dans une dynamique cohérente avec les changements développementaux observés dans la direction des préférences comportementales aux tâches de sensibilité. Elles suggèrent que les enfants présentant les compétences morphosyntaxiques les plus avancées pourraient manifester, à partir de 27 mois, une préférence accrue pour les stimuli nouveaux, sans pour autant constituer un marqueur robuste et univoque du développement morphosyntaxique ultérieur. Il est également vraisemblable que la modalité productive des mesures langagières puisse influencer sur la présence ou la force des relations entre les indices.

Enfin, l'absence d'association avec les mesures standardisées suggère que les liens entre AS et développement langagier sont moins susceptibles d'émerger lorsque les compétences évaluées mobilisent des processus linguistiques larges et hétérogènes, dépassant les structures ciblées dans les tâches d'AS.

Dans l'ensemble, les tâches de sensibilité aux régularités ne produisent pas d'effets significatifs, et les corrélations avec le développement langagier demeurent rares et d'amplitude modeste. Ce type de profil de résultats est difficile à interpréter, dans la mesure où il ne permet pas de trancher entre l'absence d'un effet réel et l'insuffisance des conditions de mesure pour le détecter. La section suivante examine dans quelle mesure les contraintes méthodologiques propres à ce chapitre peuvent éclairer ce profil de résultats.

5.4.3. Limites méthodologiques et portée interprétative

Les résultats de ce chapitre doivent être interprétés à la lumière de plusieurs contraintes méthodologiques. Il convient de noter qu'une absence d'effet significatif au niveau groupal dans les tâches de sensibilité n'exclut pas l'existence d'une variance interindividuelle potentiellement informative, ce qui justifie la réalisation des analyses corrélationnelles. Toutefois, l'absence d'ancrage groupal solide rend l'interprétation des corrélations observées plus délicate et invite à une prudence accrue quant à leur portée.

Sur le plan statistique, la multiplicité des analyses corrélationnelles testées dans ce chapitre, combinée à la taille modeste de l'échantillon pour ce type d'analyse, réduit la puissance statistique et augmente le risque d'erreur de type II — en particulier pour des effets faibles à modérés. Les corrections pour comparaisons multiples, bien que nécessaires, contribuent à faire disparaître des tendances potentiellement informatives.

Sur le plan des mesures, la difficulté inhérente à mettre en relation des indices comportementaux précoces — caractérisés par une forte variabilité interindividuelle — avec des mesures langagières constitue une limite propre aux analyses longitudinales de ce chapitre.

Les limites relatives aux paradigmes comportementaux eux-mêmes ont été discutées dans le chapitre 2 et seront réexaminées dans la discussion générale qui suit, à la lumière de l'ensemble des résultats.

5.5. Conclusion

Au terme de ce chapitre, il apparaît que les relations entre sensibilité aux régularités statistiques et développement langagier sont, dans le cadre de cette étude, limitées, sélectives et difficiles à interpréter de manière univoque. Les rares associations significatives observées suggèrent que, lorsqu'un lien émerge, il est étroitement dépendant de la proximité entre le type de régularité, la nature du stimulus et les compétences évaluées — plutôt que le reflet d'un mécanisme général et robuste. Ces analyses transversales et longitudinales mettent ainsi en évidence des relations complexes, qui appellent à une mise en perspective globale, dépassant le cadre de ce seul chapitre. La discussion générale qui suit vise à intégrer l'ensemble des résultats de la thèse et à en examiner les implications théoriques et méthodologiques, ainsi qu'à ouvrir des perspectives pour de futures recherches et pour la pratique clinique en logopédie.

6. Discussion générale

Cette thèse porte sur l'apprentissage statistique (AS) et interroge la place de ces mécanismes dans le développement du langage au cours de la petite enfance. Elle se focalise plus particulièrement sur l'acquisition précoce de la morphosyntaxe, en examinant la sensibilité des jeunes enfants à différents types de régularités statistiques linguistiques et les relations entre cette sensibilité et le développement langagier, dans une perspective longitudinale. Le présent chapitre vise à discuter ces résultats au regard des objectifs formulés, des modèles théoriques actuels et des contraintes méthodologiques propres à l'étude de l'AS chez le jeune enfant.

6.1. Discussion des résultats au regard des objectifs

6.1.1. Sensibilité aux régularités statistiques linguistiques

Cette section examine dans quelle mesure les enfants manifestent une sensibilité aux régularités statistiques linguistiques à 18 et 27 mois. Dans cette thèse, cette sensibilité a été investiguée au moyen de trois tâches expérimentales impliquant respectivement des dépendances adjacentes (DA) en langage artificiel, des dépendances non adjacentes (DNA) en langage artificiel et en langue maternelle. Elle a été mesurée par le biais de l'attention visuelle comme mesure proxy de l'attention auditive, la présence d'une sensibilité étant classiquement inférée à partir d'un effet de familiarité ou d'un effet de nouveauté.

Dans l'ensemble, aucune des tâches n'a mis en évidence un effet robuste de différenciation entre stimuli grammaticaux et non grammaticaux visible sur le plan comportemental au niveau du groupe. Cette absence d'effet observée indépendamment du type de régularité, de la nature du stimulus linguistique et de l'âge testé ne nous permet pas de conclure à une sensibilité manifeste dans les conditions expérimentales proposées. Elle ne permet toutefois pas d'exclure la présence d'un apprentissage sous-jacent.

Ces résultats contrastent avec une partie de la littérature existante rapportant une sensibilité précoce aux régularités statistiques, tant pour les DA que pour les DNA en langage artificiel et en français. Toutefois, les différences méthodologiques entre les études — concernant notamment les stimuli, les types de tâche et les méthodes de mesure — constituent très probablement des facteurs explicatifs majeurs de ces divergences. En effet, de plus en plus de travaux indiquent que la détection de régularités statistiques au moyen de paradigmes comportementaux est fortement contrainte par les paramètres des tâches, ainsi que par la disponibilité cognitive de l'enfant (engagement, fatigue), ce qui peut atténuer, voire

masquer, un apprentissage effectif (Arnon, 2020 ; Isbilen & Christiansen, 2022 ; ManyBabies Consortium, 2020).

L'ensemble des tâches est également marqué par des dynamiques attentionnelles comparables, caractérisées par un engagement soutenu en début de session suivi d'un désengagement progressif, ainsi que par une variabilité interindividuelle importante. Ces éléments suggèrent que l'expression comportementale de la sensibilité aux régularités statistiques est étroitement dépendante des ressources attentionnelles et des propriétés des paradigmes expérimentaux. Certains paramètres ont pu, en particulier, limiter l'allocation de l'attention aux indices pertinents en interférant avec le traitement auditif, notamment la saillance (Atkinson & Braddick, 2013) et le caractère figuratif (Helo et al., 2017 ; Snyder & Mares, 2021 ; Valkenburg & Vroone, 2004) des stimuli visuels, bien que le canal auditif soit normalement préférentiel (Mueller et al., 2019 ; Robinson & Sloutsky, 2019).

Dans ce contexte, l'absence d'effet global ne permet pas de mettre en évidence de différences systématiques liées au type de régularité (DA vs DNA) ni à la nature du stimulus (langage artificiel vs langue maternelle). Les analyses complémentaires n'indiquent pas non plus de covariation stable entre les performances aux différentes tâches. Ces résultats ne permettent pas d'identifier des profils différenciés, mais restent compatibles avec l'idée que les mécanismes impliqués dans le traitement des régularités puissent être partiellement distincts ou modulés par le contexte d'apprentissage, comme le suggère la littérature.

Malgré l'absence d'effet robuste, certains indices ouvrent d'autres pistes d'interprétation. En particulier, la dynamique interne de la tâche de DNA-27m permet d'observer une évolution au cours de l'expérience, caractérisée par une diminution sélective de l'attention portée aux stimuli non grammaticaux. Cette tendance, bien qu'elle ne se traduise pas par une préférence nette au niveau du groupe, est compatible avec un apprentissage émergent (Bodard et al., 2025).

Ce décalage temporel suggère que certains paramètres du paradigme pourraient être ajustés afin de mieux capter l'expression comportementale de la sensibilité, notamment en modulant la phase d'exposition (Sundara et al., 2018), la longueur des essais (Hunter & Ames, 1988) ou encore la fréquence d'alternance des types de stimuli (Houston et al., 2007).

D'un point de vue théorique, ces résultats peuvent également être interprétés à la lumière des modèles développementaux de préférence attentionnelle (Hunter & Ames, 1988), qui décrivent des trajectoires d'apprentissage non linéaires marquées par des alternances de préférences et des phases possibles d'absence de préférence, voire par la succession de plusieurs

cycles selon des travaux sur les DNA (Culbertson et al., 2016). Il est ainsi possible que les enfants de notre étude se situent à des stades différents de ces trajectoires, ce qui, combiné à une variabilité individuelle importante, peut empêcher l'émergence d'un effet au niveau du groupe, d'autant plus que notre étude a testé les enfants à des âges légèrement plus avancés (18 mois pour les DA et 27 mois pour les DNA) que ceux des études ayant observé une sensibilité claire.

Dans cette perspective, l'absence d'effet comportemental clair apparaît davantage comme un indice de la sensibilité des mesures aux contraintes méthodologiques et développementales que comme une preuve d'absence d'apprentissage. Elle souligne la nécessité d'interpréter les performances observées avec prudence et de considérer la complexité des facteurs influençant l'expression comportementale de l'AS au cours du développement. Ce point est central pour l'interprétation des analyses présentées dans les sous-sections suivantes.

6.1.2. Performances morphosyntaxiques

Les tâches expérimentales de morphosyntaxe visaient à examiner des structures impliquant des DNA chez les enfants francophones autour de 40 mois, en particulier l'accord verbal en nombre et la flexion temporelle. Elles s'inscrivent dans un objectif plus large consistant à documenter l'acquisition de ces structures grammaticales et à explorer leurs relations avec les capacités d'apprentissage des régularités statistiques mesurées plus précocement. Dans cette perspective, ces tâches permettent d'apporter un éclairage à la fois descriptif et développemental sur les compétences morphosyntaxiques à cet âge.

Dans l'ensemble, les résultats mettent en évidence une dissociation entre compréhension et production, ainsi que des performances encore éloignées d'un niveau de maîtrise adulte, en particulier dans les tâches de production. Sur le plan de la compréhension, les enfants montrent une prise en compte de certaines marques morphosyntaxiques, notamment l'accord en nombre et le passé, avec des performances supérieures au niveau du hasard, tandis que cette compréhension apparaît plus fragile pour le futur. En production, les performances sont globalement faibles, avec une forte proportion de réponses non fléchies, notamment sous forme d'infinitifs, ainsi que de formes par défaut (non marquées). Ces patrons de réponses suggèrent que, lorsque la contrainte morphologique devient trop exigeante, les enfants tendent à recourir à des formes moins marquées et plus fréquentes dans l'input.

Ces résultats s'inscrivent dans une conception graduelle du développement morphosyntaxique, selon laquelle les enfants disposent précocement de connaissances partielles ou sensibles aux régularités de surface, qui se consolident progressivement en

représentations plus abstraites et généralisables (Bassano et al., 2020 ; Fenson et al., 2006 ; Ud Deen, 2017). La dissociation observée entre compréhension et production, ainsi que la persistance de formes non fléchies ou non marquées, suggèrent que les représentations morphosyntaxiques sont encore en cours de structuration à cet âge et que leur mobilisation dans des tâches contrôlées demeure coûteuse sur le plan cognitif.

Ces éléments doivent toutefois être interprétés à la lumière des contraintes méthodologiques propres aux tâches de compréhension et de production chez le jeune enfant. Les tâches de compréhension, notamment lorsqu'elles reposent sur des réponses de type pointage, impliquent des exigences cognitives et attentionnelles qui peuvent masquer des compétences sous-jacentes chez les plus jeunes enfants (Brandt-Kobe & Höhle, 2010 ; Gavarró & Keidel, 2024). Elles reposent en outre sur l'interprétation de stimuli visuels, dont la complexité ou l'ambiguïté peut influencer les réponses indépendamment des connaissances linguistiques, notamment lorsqu'il s'agit de représenter des relations temporelles ou des événements dynamiques. Quant aux tâches de production, et en particulier les tâches d'élicitation, elles constituent des contextes fortement contraints qui sollicitent non seulement les connaissances linguistiques, mais également des capacités de planification, de récupération lexicale et de contrôle attentionnel (Brandt-Kobe & Höhle, 2010). Dans ce cadre, les faibles performances observées en production peuvent refléter en partie les exigences de la tâche plutôt qu'une absence de connaissances morphosyntaxiques.

L'interprétation de ces résultats doit également tenir compte des propriétés du matériel linguistique utilisé dans les tâches expérimentales. Dans les tâches impliquant des items en langue maternelle (DNAfr-27m, compréhension et production morphosyntaxiques), les verbes sélectionnés appartenaient aux deuxième et troisième groupes du français. Contrairement aux verbes du premier groupe, qui représentent la grande majorité des types verbaux en français (environ 90 %, Marquis et al., 2012) et constituent une base privilégiée pour la généralisation de régularités (Bybee, 1995 ; Yang, 2016), ces verbes se caractérisent par une fréquence de type plus faible et par une homogénéité morphologique moindre. Cependant, bien que moins nombreux en français, ils concentrent une large part des occurrences dans les productions spontanées d'enfants francophones (Guillaume, 1927 [1973], dans Marquis et al., 2012 ; Royle et al., 2012), avec toutefois des différences selon les temps (Royle et al., 2012).

Bien que certains verbes irréguliers soient appris précocement en raison de leur fréquence d'usage, les contraintes méthodologiques de l'étude — notamment les critères de transitivité, de longueur, de propriétés phonologiques et d'imageabilité — ont conduit à

sélectionner des verbes moins fréquents, mais néanmoins connus des enfants selon le questionnaire parental. Les verbes utilisés ne permettaient pas aux enfants de s'appuyer ni sur des schémas fortement productifs, ni potentiellement sur des représentations lexicales hautement consolidées.

De plus, la possibilité d'extraire et de généraliser une régularité semble dépendre non seulement de la fréquence des formes rencontrées, mais également du rapport entre régularités et exceptions au sein du système linguistique (Koulaguina & Shi, 2019 ; Shi & Emond, 2023). Lorsque les régularités sont moins saillantes ou moins dominantes, l'apprentissage peut rester limité à des représentations spécifiques aux items, sans donner lieu à une généralisation robuste. L'utilisation des verbes spécifiques sélectionnés dans le cadre de notre étude, pour lesquels la généralisation morphosyntaxique est plus difficile, a donc probablement compliqué la tâche aux enfants.

Dans cette perspective, les performances observées pourraient indiquer que, malgré la présence de sous-régularités et la possibilité de réaliser des analogies locales avec les verbes des deuxième et troisième groupes, les enfants ne disposent pas encore de représentations suffisamment abstraites pour généraliser ces régularités à des verbes moins fréquents ou moins réguliers, leurs connaissances restant en partie dépendantes des items.

Ces deux interprétations ne s'excluent pas mutuellement et suggèrent que les performances observées résultent d'une interaction entre contraintes liées aux tâches et état du développement des représentations morphosyntaxiques.

6.1.3. Relations transversales entre AS et développement langagier

Afin d'étudier les relations entre l'AS et le développement du langage, nous avons entrepris d'examiner les associations entre les performances aux tâches d'apprentissage de régularités statistiques et les indices de développement langagier mesurés au même âge via des questionnaires parentaux dans notre étude. Étant donné les liens spécifiques suggérés par certains modèles (Erickson & Thiessen, 2015), nous nous sommes intéressés en particulier aux corrélations entre DA et lexique, et surtout entre DNA et morphosyntaxe.

À 18 mois, les analyses montrent une association faible entre la sensibilité aux DNA en langage artificiel (DNA-18m) et l'indice morphosyntaxique précoce de combinaison de mots, tandis qu'aucune relation n'est observée entre la sensibilité aux DA et le lexique productif. À 27 mois, aucune corrélation significative n'émerge entre les performances aux tâches de DNA, en langage artificiel ou en langue maternelle, et les indices morphosyntaxiques.

L'absence d'association entre la sensibilité aux DA et le lexique productif ne permet pas d'apporter un soutien empirique au lien privilégié entre traitement de cooccurrences locales et développement lexical, souvent discuté à partir des travaux sur la segmentation fondée sur les probabilités transitionnelles et son rôle dans l'apprentissage de mots (Graf Estes et al., 2007 ; Saffran, Aslin et al., 1996). Dans la mesure où la tâche de DA ne génère pas d'effet de sensibilité robuste (cf. 6.1.1), cette absence de corrélation ne permet toutefois pas de conclure à une absence de lien théorique entre ces mécanismes et l'acquisition lexicale.

En revanche, l'association observée à 18 mois entre la sensibilité aux DNA et l'indice morphosyntaxique de combinaison de mots, bien que de faible amplitude et n'étant plus statistiquement significative après correction, est cohérente avec les approches proposant que l'extraction de DNA constitue un mécanisme pertinent pour l'acquisition de relations morphosyntaxiques et s'inscrit dans la continuité de résultats d'autres études dans le domaine (par ex., Misyak & Christiansen, 2012). Ces résultats nous invitent à considérer la dynamique développementale de ces associations.

Il est possible que les liens transversaux entre sensibilité aux régularités et développement morphosyntaxique ne soient ni stables ni linéaires, et qu'ils dépendent du stade d'appropriation des structures linguistiques. C'est ce que défendent Erickson & Thiessen (2015) dans leur modèle d'Extraction–Intégration, avec une vision évolutive du rôle joué par l'AS. En s'appuyant également sur des données empiriques (par ex., Shafto et al., 2012), ils soutiennent en effet que la sensibilité aux régularités statistiques joue un rôle central en début de développement, notamment pour la segmentation de la parole et la constitution d'un proto-lexique, ce qui conduirait à prédire des corrélations plus fortes entre AS et mesures lexicales précoces, alors qu'à mesure que le développement progresse, le langage reposerait de plus en plus sur des représentations linguistiques déjà établies et sur des processus d'intégration et d'abstraction, ce qui pourrait masquer l'influence directe des mécanismes statistiques sous-jacents dans les analyses corrélationnelles.

Cette évolution est cohérente avec des travaux montrant que, chez des enfants plus âgés et des adultes, les performances en AS sont davantage liées à des compétences morphosyntaxiques ou syntaxiques qu'au vocabulaire (p. ex., Misyak & Christiansen, 2012). Dans ce contexte, l'absence ou la faiblesse de corrélations à un âge donné n'est pas interprétée comme une absence d'intervention de l'AS, mais refléterait plutôt une reconfiguration développementale de ses contributions aux différentes composantes du langage, soulignant la

nécessité d'approches longitudinales pour en évaluer pleinement l'impact (Erickson & Thiessen, 2015).

Dans notre étude, il serait donc possible qu'à 18 mois, le lien entre DA et lexique soit déjà moins prégnant, alors que le lien entre DNA en langage artificiel et morphosyntaxe s'intensifierait en cette période des prémices de la syntaxe. Quant au lien entre DNA en français et morphosyntaxe, il pourrait se trouver déjà en partie masqué par les connaissances linguistiques acquises.

Enfin, au regard des contraintes de mesure présentées dans la sous-section 6.1.1, l'interprétation des relations transversales doit rester prudente, en particulier lorsque les effets de sensibilité au niveau du groupe sont faibles ou absents.

Par ailleurs, un second ensemble d'analyses transversales mené dans le cadre de la thèse, reposant cette fois sur les tâches expérimentales ciblant directement la morphosyntaxe verbale en compréhension et en production, apporte un éclairage complémentaire. Contrairement à certaines données antérieures (Hsin et al., 2022), nous n'avons pas observé de corrélation statistiquement significative entre les performances en compréhension et en production. Cette absence de relation n'implique toutefois pas une indépendance stricte entre les modalités réceptive et expressive : des travaux à large échelle indiquent que compréhension et production tendent globalement à covarier au cours du développement langagier précoce (Bornstein & Hendricks, 2012). Elle pourrait plutôt refléter la spécificité des marqueurs morphosyntaxiques évalués ici ainsi que les exigences cognitives distinctes des tâches de pointage et d'élicitation, particulièrement saillantes chez le jeune enfant (Hendriks & Koster, 2010).

En revanche, des associations sélectives apparaissent avec plusieurs mesures standardisées : la tâche de compréhension est liée à la mesure standardisée de compréhension morphosyntaxique, tandis que la tâche de production est associée à l'épreuve de répétition de phrases, souvent considérée comme un indicateur fiable des compétences morphosyntaxiques (Riches, 2012). Ces convergences suggèrent que, bien que centrées sur un nombre restreint de structures, ces tâches expérimentales s'inscrivent dans des compétences grammaticales plus larges et témoignent également d'une certaine validité de construit.

Ces associations constituent un signal encourageant pour le développement futur de tâches plus sensibles et fiables au niveau individuel, pouvant à terme présenter une applicabilité clinique. Sans permettre d'inférer directement le rôle de l'AS dans l'acquisition de la morphosyntaxe, ces résultats demeurent compatibles avec l'idée que la sensibilité aux régularités de l'environnement linguistique constitue l'un des mécanismes susceptibles de

soutenir la structuration progressive du système grammatical. À l'inverse, l'absence de lien avec d'autres mesures, notamment certains questionnaires parentaux, rappelle que les relations transversales observées dépendent étroitement de la nature des outils utilisés, de leur sensibilité développementale et du degré de correspondance entre les structures effectivement évaluées.

En résumé, ces résultats plaident pour une conception nuancée de la contribution de l'AS au développement langagier. Si l'objectif était d'examiner l'existence de relations transversales spécifiques entre les performances d'AS et les composantes émergentes du langage, les données obtenues suggèrent que ces relations, si elles existent bien, sont fragiles, vraisemblablement non linéaires et dépendantes des conditions de mesure. Cela nous conduit à poursuivre avec l'examen des capacités d'AS dans une perspective longitudinale, afin d'examiner leur lien avec les trajectoires ultérieures de développement morphosyntaxique.

6.1.4. Relations longitudinales de l'AS précoce avec la morphosyntaxe ultérieure

Dans la continuité des analyses transversales présentées dans la section précédente, cette section discute l'objectif visant à examiner dans quelle mesure les capacités précoces d'AS — en particulier celles impliquées dans le traitement des DNA — pourraient présenter des associations avec le développement morphosyntaxique ultérieur.

Les analyses longitudinales menées dans cette thèse s'appuient notamment sur des mesures de la morphosyntaxe évaluées à différents moments du développement, notamment au moyen des deux tâches expérimentales ciblant la compréhension et la production de structures morphosyntaxiques spécifiques similaires à celles mobilisées dans la tâche DNAfr-27m.

Ces analyses mettent en évidence un nombre limité d'associations robustes entre les mesures d'AS à 18 et 27 mois et les indices morphosyntaxiques évalués à 40 mois. Néanmoins, il est important de les considérer comme des analyses exploratoires, à envisager avec prudence, en raison de limitations méthodologiques qui seront détaillées dans la section suivante. La continuité des performances d'AS entre les deux âges précoces apparaît faible, avec une seule corrélation, négative, entre la tâche de DNA en langage artificiel à 18 et 27 mois, qui perd sa significativité après correction.

Concernant les compétences morphosyntaxiques ultérieures, une association forte et positive est observée entre la sensibilité aux DNA en langue maternelle à 27 mois (DNAfr-27m) et les performances de compréhension morphosyntaxique à 40 mois, tandis qu'aucune relation comparable n'émerge avec la production morphosyntaxique. Un seul lien significatif est présent avec les mesures parentales. Il s'agit d'une corrélation modérée et négative entre la sensibilité à la tâche de DNA en langage artificiel à 27 mois (DNA-27m) et l'indice *Structures*

complexes du questionnaire parental. Aucune association significative n'est présente avec les tâches standardisées.

La corrélation négative modérée entre DNA-18m et DNA-27m suggère une tendance à l'inversion des patterns de préférences. Ces résultats convergent vers l'idée que les mesures de regard pourraient capturer des manifestations comportementales en évolution rapide à ces âges (Culbertson et al., 2016), vraisemblablement fortement modulées par l'attention et le degré de consolidation des représentations.

Dans cette perspective développementale, la corrélation négative observée entre DNA-27m et un des indices morphosyntaxiques à 40 mois suggère que les enfants présentant de meilleures compétences morphosyntaxiques tendent à montrer des préférences orientées vers la nouveauté dans la tâche de sensibilité. Comme précédemment évoqué, ces inversions directionnelles peuvent être interprétées à la lumière des modèles de préférence attentionnelle, selon lesquels la direction de la préférence (familiarité vs nouveauté) varie en fonction du degré de traitement et de consolidation des représentations (Culbertson et al., 2016 ; Hunter & Ames, 1988). Dans ce cadre, une préférence pour la nouveauté refléterait classiquement un stade de traitement plus avancé, ce qui permet de comprendre la cohérence qualitative des associations négatives observées, sans pour autant y voir l'indice d'un lien prédictif direct et univoque entre AS et morphosyntaxe.

Le lien longitudinal observé entre la sensibilité aux DNA en langue maternelle à 27 mois et la compréhension morphosyntaxique à 40 mois montre une cohérence dans la continuité des tâches, mais doit également être interprété avec prudence. Bien qu'il constitue l'association la plus robuste observée dans ces analyses, il est possible qu'il reflète en partie une continuité des compétences langagières plutôt qu'un effet spécifique des capacités d'AS. La proximité structurelle entre la tâche de DNA en français et les tâches de compréhension morphosyntaxique ultérieures, ainsi que le caractère réceptif commun de ces mesures, peuvent favoriser l'émergence d'une association sans qu'il soit possible de conclure à une contribution causale spécifique des mécanismes d'AS. L'absence de relation comparable avec la production morphosyntaxique va dans le sens de cette interprétation et suggère que les liens observés pourraient être sensibles aux propriétés des tâches et aux exigences cognitives qu'elles mobilisent.

Pris dans leur ensemble, les résultats longitudinaux présentés ici ne permettent pas de conclure à l'existence d'une valeur prédictive robuste et généralisable des capacités précoces d'AS pour le développement morphosyntaxique ultérieur. Ils suggèrent plutôt que les relations

observées s'inscrivent dans des dynamiques développementales complexes, où les mesures d'AS capturent des variations transitoires de traitement et d'attention, étroitement imbriquées avec l'évolution des compétences langagières elles-mêmes. Conformément à la discussion de la sous-section 6.1.1, ces résultats rejoignent les travaux soulignant les limites psychométriques des paradigmes d'AS chez le jeune enfant et la difficulté à isoler l'influence spécifique de ces mécanismes dans des trajectoires développementales multidimensionnelles (Arnon, 2020 ; Isbilen & Christiansen, 2022 ; Siegelman et al., 2017).

Bien que les résultats longitudinaux de la présente étude ne permettent pas d'établir une valeur prédictive robuste des capacités précoces d'AS sur le développement morphosyntaxique ultérieur, ils ne réfutent pas l'hypothèse d'une contribution possible de ces mécanismes au développement du langage. Un ensemble de travaux suggère en effet que, dès la première année de vie, les nourrissons sont sensibles à différents indices statistiques présents dans l'input linguistique, tels que les probabilités de cooccurrence ou certaines régularités distributionnelles, qu'ils peuvent utiliser pour segmenter la parole et structurer leurs premières représentations linguistiques (Nazzi et al., 2006 ; Saffran, Aslin et al., 1996 ; Shi, 2014). D'autres travaux indiquent également une sensibilité précoce à certaines DNA, aux mots grammaticaux et à leur utilisation progressive pour inférer des relations syntaxiques ou contraindre l'interprétation lexicale (de Carvalho, Babineau, et al., 2019 ; de Carvalho, He, et al., 2019 ; Santelmann & Jusczyk, 1998 ; van Heugten & Shi, 2010). Dans cette perspective, les résultats contrastés observés ici ne remettent pas en cause le rôle potentiel de l'AS, mais suggèrent que sa contribution au développement morphosyntaxique varie en fonction des structures étudiées, des méthodes utilisées et du stade développemental des enfants.

L'ensemble de ces éléments, tant empiriques que théoriques, conduit ainsi à considérer les limites méthodologiques et interprétatives de ce travail.

6.2. Limites et portée interprétative de cette thèse

Les résultats obtenus dans cette thèse invitent à une réflexion transversale sur les limites et contraintes qui ont accompagné l'ensemble de l'étude. Celles-ci s'inscrivent à différents niveaux : elles concernent d'abord les conditions de mesure des capacités d'AS chez le jeune enfant, puis les enjeux développementaux et interprétatifs associés à ces mesures, les contraintes analytiques et statistiques, ainsi que la validité écologique des paradigmes mobilisés et leur possible transposition vers des contextes appliqués, notamment cliniques. Cette mise en

perspective permet de préciser le cadre d'interprétation des résultats présentés dans la section précédente, ainsi que les limites de leur portée.

6.2.1. Limites des paradigmes comportementaux et de la mesure de l'AS

Au niveau le plus fondamental, les limites de ce travail tiennent à la sensibilité intrinsèque des paradigmes comportementaux mobilisés pour étudier l'AS chez le jeune enfant. Bien que les tâches fondées sur le regard préférentiel présentent l'intérêt majeur de ne pas requérir de réponse volontaire consciente, ce qui les rend particulièrement adaptées à l'étude des jeunes enfants, elles ne permettent pas d'observer l'apprentissage des régularités statistiques de manière directe. Elles donnent accès uniquement à une forme d'expression comportementale indirecte, à travers des variations attentionnelles fortement contraintes, qui peuvent être modulées par des facteurs indépendants du traitement des régularités statistiques. La direction et l'amplitude des préférences observées dépendent de paramètres méthodologiques fins (procédure employée, durée de familiarisation, caractéristiques des stimuli ou encore organisation des essais) et de facteurs propres à l'enfant, tels que les ressources attentionnelles, la fatigue et l'engagement au moment de la passation (Arnon, 2020 ; Isbilen & Christiansen, 2022 ; Siegelman et al., 2017). Dans ce contexte, l'absence d'effet de grammaticalité robuste au niveau du groupe ne peut être interprétée assurément comme l'absence d'apprentissage. Elle pourrait également refléter une expression comportementale fragile, susceptible d'être masquée par une variabilité inter- et intra-individuelle élevée.

De plus, même lorsque des effets sont observés au niveau du groupe, les indices individuels dérivés de contrastes entre conditions peuvent présenter une fiabilité limitée, dans la mesure où ils reposent sur des scores de différence (entre conditions grammaticale et non grammaticale) particulièrement sensibles au bruit de mesure (Hedge et al., 2018). Cette précision réduite des mesures constitue une limite importante pour l'étude des relations entre AS et développement langagier.

6.2.2. Dynamiques développementales et limites interprétatives des préférences attentionnelles

Ces contraintes méthodologiques doivent toutefois être replacées dans une perspective développementale plus large. Les capacités d'AS ne suivent vraisemblablement pas une trajectoire linéaire au cours de la petite enfance, mais semblent plutôt évoluer selon des dynamiques complexes, marquées par des phases de transition et des changements qualitatifs rapides. Le modèle de préférence attentionnelle de Hunter et Ames (1988), ainsi que d'autres travaux, mettent notamment en évidence des cycles de familiarité et de nouveauté dans

l'apprentissage des DNA (Culbertson et al., 2016) et suggèrent que l'absence de préférence observée à un moment donné peut correspondre à une phase intermédiaire entre deux phases d'apprentissage, plutôt qu'à un échec du traitement des régularités.

Dans cette perspective, les âges investigués dans cette thèse — 18 et 27 mois — pourraient correspondre à des périodes de reconfiguration des représentations linguistiques et des stratégies d'apprentissage, durant lesquelles les manifestations comportementales de l'AS au niveau du groupe sont particulièrement instables. Cette non-linéarité complique l'interprétation des résultats transversaux et longitudinaux et invite à considérer que les mesures obtenues pourraient refléter des états développementaux transitoires, étroitement dépendants du contexte expérimental.

Si ce cadre théorique offre une lecture développementale nuancée des préférences attentionnelles, il soulève néanmoins plusieurs limites (Houston-Price & Nakai, 2004 ; Slater, 2004). En particulier, le modèle de Hunter et Ames (1988), en postulant que tous les patterns comportementaux — préférence pour la familiarité, préférence pour la nouveauté ou absence de préférence — peuvent être rattachés à des états distincts du traitement, peut mener à une indétermination interprétative et soulever une question de falsifiabilité au sens de Popper (1959), selon lequel une théorie scientifique doit spécifier des conditions empiriques sous lesquelles elle pourrait être réfutée.

Ainsi, une préférence pour la familiarité peut refléter un apprentissage en cours, un rythme de traitement plus lent, une orientation attentionnelle accrue vers les stimuli connus ou encore des facteurs situationnels tels que la fatigue. À l'inverse, une préférence pour la nouveauté peut traduire un encodage plus avancé, mais aussi une attirance perceptive non spécifique pour certains stimuli. Enfin, une absence de préférence peut correspondre à une phase de transition dans le traitement, à une variabilité de mesure importante ou, dans certains cas, à une sensibilité plus limitée aux régularités ciblées. Dès lors, un même pattern comportemental ne saurait être assimilé de manière directe à un état cognitif ou développemental univoque.

En ce sens, lorsque les résultats sont largement expliqués a posteriori en invoquant le rôle de la durée de familiarisation, de la complexité des stimuli ou des différences interindividuelles, le caractère prédictif du modèle se trouve sensiblement affaibli et le modèle semble laisser ouverts tous les possibles. Néanmoins, les prédictions liées aux conditions expérimentales précédemment citées peuvent être testées empiriquement et, bien que les

résultats soient inégaux selon les études, sont partiellement corroborées (DePaolis et al., 2016 ; Santolin et al., 2021).

Ces limites ont récemment motivé des initiatives visant à tester à grande échelle les prédictions du modèle. Le projet ManyBabies 5 (Kosie et al., 2024), notamment, constitue une tentative majeure de mise à l'épreuve empirique du passage supposé d'une préférence pour la familiarité à une préférence pour la nouveauté, en manipulant systématiquement l'âge des nourrissons, le temps de familiarisation et la complexité des stimuli dans un large échantillon multisite. En s'appuyant sur des pratiques de science ouverte (préenregistrement, forte puissance statistique), ce projet vise précisément à renforcer la robustesse et la testabilité des prédictions issues du modèle.

Au-delà du modèle de Hunter et Ames, d'autres cadres théoriques centrés sur les préférences attentionnelles peuvent également expliquer l'absence de préférence observée dans cette thèse. Les théories classiques de la curiosité et de la complexité proposées par Berlyne (1960) suggèrent que l'intérêt attentionnel est maximal pour des stimuli présentant un niveau intermédiaire de nouveauté ou de complexité, les stimuli trop simples ou trop complexes suscitant un engagement moindre. Cette intuition a été formalisée de manière computationnelle dans les travaux mettant en évidence un « effet Goldilocks », selon lequel les nourrissons privilégient des stimuli d'une complexité informationnelle intermédiaire (Kidd et al., 2012).

Dans cette perspective, les stimuli utilisés dans cette étude n'ont peut-être pas atteint le niveau optimal de complexité nécessaire pour susciter une différenciation attentionnelle nette. Ces cadres rejoignent, dans une certaine mesure, celui de Hunter et Ames en invitant à considérer les préférences observées comme des indices indirects de dynamiques attentionnelles graduelles plutôt que comme des marqueurs non équivoques d'apprentissage.

6.2.3. Limites analytiques et statistiques

À ces contraintes structurelles et développementales s'ajoutent des limites d'ordre analytique. La multiplicité des mesures et des analyses réalisées a imposé un recours à des corrections pour comparaisons multiples (Benjamini–Hochberg), nécessaires pour contrôler le risque de faux positifs, mais réduisant la puissance statistique, d'autant plus que la taille des échantillons est limitée au regard de ce type d'analyse. Dans un contexte où les effets attendus sont faibles à modérés et où la variabilité interindividuelle est élevée, ces choix analytiques augmentent la probabilité de faux négatifs.

Par ailleurs, les analyses corrélationnelles transversales et longitudinales constituent des outils limités pour inférer des relations causales ou des continuités développementales robustes.

Lorsque les mesures d'AS présentent une stabilité temporelle faible et une expression comportementale instable, l'absence de corrélation significative ne permet pas de conclure à l'absence de lien fonctionnel entre les mécanismes d'AS et le développement langagier.

Des approches analytiques complémentaires, visant à réduire la dimensionnalité des données (scores composites ou analyse en composantes principales) ou à modéliser explicitement les trajectoires développementales, pourraient ainsi constituer des pistes prometteuses pour dépasser certaines limites des analyses corrélationnelles classiques.

6.2.4. Validité écologique et généralisation des résultats

La question plus générale de la validité écologique des paradigmes d'AS et de leur transposition à l'acquisition linguistique naturelle se pose également à la lumière des résultats de cette thèse. Si les langages artificiels permettent un contrôle précis des régularités statistiques, ils simplifient fortement l'input linguistique par rapport à une langue naturelle. À l'inverse, les tâches intégrant des régularités en langue maternelle mobilisent des représentations lexicales et morphosyntaxiques déjà en place, susceptibles d'interagir avec les mécanismes statistiques étudiés.

Dans la présente étude, l'absence d'association entre les performances aux tâches de DNA en langage artificiel et celles impliquant des régularités de structure comparable en langue maternelle ne fournit pas d'élément empirique en faveur d'une transposition directe entre ces deux types de paradigmes. Les relations observées demeurent en effet circonscrites à des tâches de même nature, qu'il s'agisse de paradigmes en langage artificiel ou de mesures en langue maternelle. Cette observation illustre concrètement la question de la scalabilité des paradigmes d'AS et de leur capacité à rendre compte des processus impliqués dans l'acquisition réelle de la morphosyntaxe (Erickson & Thiessen, 2015).

Certaines limites concernent également la représentativité des participants. Le choix de recruter exclusivement des enfants monolingues visait à limiter les sources de variance, mais restreint la généralisation des résultats à d'autres profils linguistiques, dans un contexte où le multilinguisme est largement représenté, notamment dans un pays comme la Suisse. De plus, le niveau d'éducation parental, globalement élevé et peu variable dans l'échantillon, reflète un biais fréquent dans les études développementales nécessitant un fort investissement des familles (Nielsen et al., 2017 ; Singh et al., 2023), ce qui a conduit à ne pas l'inclure parmi les variables analysées.

Enfin, l'attrition observée au sein des tâches et, plus encore, au fil du suivi longitudinal constitue une contrainte structurelle de ce type d'étude auprès des jeunes enfants et peut être

liée à des facteurs attentionnels et motivationnels, particulièrement sollicités par les paradigmes utilisés, même si le taux d'attrition observé dans la présente étude est demeuré relativement limité. Ces éléments doivent être pris en compte dans l'interprétation des résultats et dans l'extrapolation de leur portée.

6.2.5. Portée clinique et limites des applications au niveau individuel

Au-delà des objectifs et des résultats directement examinés dans cette thèse, certaines limites concernent plus spécifiquement la nature des mesures utilisées et les conditions de leur transposition à des contextes cliniques. Une limite importante de la transposition des paradigmes d'AS vers des applications cliniques concerne la robustesse des effets comportementaux observés. Si les études expérimentales, y compris celles mettant en évidence des effets statistiquement significatifs au niveau du groupe, permettent de tester des hypothèses théoriques à l'échelle groupale, leur exploitation au niveau individuel pose question, notamment dans une perspective clinique où l'objectif est de discriminer de manière fiable des profils d'apprentissage.

Dans ce cadre, ce qui est déterminant n'est pas tant la taille de l'effet observé que sa stabilité et sa reproductibilité. Or, les mesures de regard préférentiel peuvent être affectées par une variabilité intra- et interindividuelle importante, liée à des facteurs attentionnels, contextuels et méthodologiques, ainsi que par une fiabilité test-retest potentiellement limitée — facteurs susceptibles de compromettre la robustesse des effets au niveau individuel. De plus, la faible amplitude des différences de temps de regard généralement observées entre stimuli grammaticaux et non grammaticaux — de l'ordre de quelques secondes — vient accentuer cette difficulté, car elle réduit la capacité à distinguer un effet réel du bruit de mesure, rendant l'exigence de stabilité d'autant plus forte.

Dans ce contexte, il apparaît peu réaliste, en l'état actuel des paradigmes, de fonder une distinction entre profils d'AS sur la seule base de différences de temps de regard de faible amplitude, sans disposer de garanties suffisantes quant à leur fiabilité et à leur validité prédictive.

Pris ensemble, ces limites invitent à une interprétation prudente et contextualisée des résultats et soulignent la nécessité de préciser les conditions méthodologiques et analytiques dans lesquelles l'AS peut être étudié et interprété, en particulier dans une perspective développementale et clinique.

6.3. Perspectives

Les limites discutées dans la section précédente ouvrent plusieurs perspectives de recherche, à la fois méthodologiques, théoriques et développementales. Celles-ci concernent notamment l'amélioration de la sensibilité et de la robustesse des paradigmes d'AS, la diversification des méthodes de mesure, l'étude des différences individuelles et des trajectoires développementales, ainsi que la clarification des liens entre apprentissage statistique et acquisition du langage. Ces pistes visent plus largement à approfondir l'étude empirique de l'AS et à mieux comprendre ses relations avec le développement du langage.

6.3.1. Amélioration des paradigmes comportementaux

Sur le plan méthodologique, une première perspective concerne l'amélioration de la sensibilité des paradigmes comportementaux. Pour continuer à explorer cette voie, il est nécessaire d'établir des designs d'étude permettant de contrôler finement les variations des différentes variables relatives aux stimuli et aux procédures et d'effectuer des comparaisons méthodiques. Cela pourrait s'articuler autour de trois axes principaux.

Tout d'abord, des ajustements fins dans le choix, la fréquence, l'alternance et l'organisation des stimuli auditifs et des essais, ainsi que le recours à des procédures plus adaptatives (par exemple fondées sur l'habituation) apparaissent essentiels pour mieux capter des effets souvent subtils (Houston et al., 2007 ; Sundara et al., 2018).

Ensuite, l'exploration de divers types de stimuli visuels moins distrayants (lumières ou formes simples) ou plus naturels (visages immobiles ou avec mouvements articulatoires synchronisés, Salinas-Marchant & MacLeod, 2022) permettrait également d'évaluer plus systématiquement l'impact des paramètres perceptifs sur l'expression comportementale de l'AS.

Enfin, tester des stimuli linguistiques identiques à l'aide de procédures comportementales différentes, telles que les procédures de préférence par orientation de la tête (HPP) et l'oculométrie, contribuerait à préciser plus largement l'impact de la procédure sur les mesures. Il semblerait notamment que l'utilisation de procédures requérant une réponse motrice explicite telle que tourner la tête pourrait dans certains cas renforcer la détection des préférences (Junge et al., 2020 ; ManyBabies Consortium, 2020).

6.3.2. Diversification méthodologique : mesures neurophysiologiques

Une autre perspective méthodologique importante réside dans la diversification des méthodes de mesure. Le recours conjoint à des mesures comportementales et

neurophysiologiques pourrait permettre d'accéder à des indices complémentaires de l'AS, moins directement dépendants de l'expression d'une préférence attentionnelle. Les approches neurophysiologiques (EEG, MEG, IRMf) permettent en effet de suivre l'émergence en ligne de la sensibilité aux régularités séquentielles, indépendamment des performances mesurées en fin de tâche (R. Frost et al., 2019).

Des travaux utilisant notamment le « frequency tagging » ou des réponses de type « mismatch » ont montré que la segmentation statistique peut être observée directement au niveau neural pendant l'exposition, y compris chez des populations non verbales, fournissant des indices temporels précis sur la dynamique de l'apprentissage. Ces méthodes en ligne offrent ainsi un levier pour dissocier apprentissage et performance, un enjeu central pour l'étude de l'AS et des différences individuelles (Siegelman et al., 2017).

Néanmoins, l'exploitation de ces signaux s'accompagne de contraintes méthodologiques fortes, liées notamment au faible rapport signal-sur-bruit et à la présence d'artéfacts physiologiques, techniques et de mouvement qui exigent des procédures de prétraitement complexes et peuvent affecter la sensibilité et la fiabilité des inférences sur l'AS, en particulier chez les jeunes enfants (Abreu et al., 2018 ; Mumtaz et al., 2021 ; Wang et al., 2025).

De plus, ce type d'études reprend souvent les designs des paradigmes comportementaux classiques et hérite fréquemment des limites écologiques qui leur sont associées (par ex., régularités simples, probabilités transitionnelles élevées, unités uniformes et expositions brèves) (R. Frost et al., 2019). Il soulève également des défis interprétatifs, notamment quant à l'identification précise des mécanismes sous-jacents et à la stabilité à long terme des régularités apprises (R. Frost et al., 2019).

Enfin, leur transposition vers des contextes cliniques demeure à ce jour difficilement envisageable, même si cela pourrait devenir possible à plus long terme grâce aux évolutions technologiques. De plus, ce type de mesures ne résout pas en soi les limites liées aux analyses individuelles.

6.3.3. Études à grande échelle et puissance statistique

Une perspective méthodologique complémentaire, liée cette fois aux aspects statistiques, concerne la taille des échantillons et la puissance statistique des études développementales. Cette contrainte constitue une limite récurrente dans les recherches transversales et longitudinales menées auprès de jeunes enfants, en raison des défis liés au recrutement et à l'engagement des parents, et du taux d'attrition élevé.

Dans ce contexte, la réalisation de méta-analyses est indispensable pour accroître la robustesse des résultats et mieux estimer l'ampleur des effets (par ex., Isbilen & Christiansen, 2022 ; West et al., 2021). La mise en place d'études multisites coordonnées permettrait également de répondre à ces faiblesses quantitatives, mais aussi de tester de manière plus systématique l'impact de variations méthodologiques contrôlées ou de répliquer des études, contribuant ainsi à renforcer la comparabilité et l'intégration des résultats entre études sur l'AS (par ex., ManyBabies Consortium, 2020).

Dans cette perspective, des designs longitudinaux à plus large échelle permettraient également de mieux caractériser la stabilité et l'évolution des capacités d'AS au cours du développement, en distinguant plus finement les variations transitoires des continuités développementales plus robustes.

6.3.4. Mesure des différences individuelles : enjeux psychométriques et cliniques

Au-delà des enjeux méthodologiques liés à la sensibilité des paradigmes au niveau du groupe, se pose la question de la capacité des tâches d'AS à capter des différences individuelles fiables — condition nécessaire à toute perspective d'application clinique. La littérature souligne en effet que de nombreuses tâches d'AS ont été initialement conçues pour mettre en évidence des effets au niveau du groupe, ce qui limite leur sensibilité et leur fidélité lorsqu'elles sont mobilisées pour estimer des performances individuelles — n'étant pas nécessairement optimisées pour la mesure stable des différences interindividuelles (Hedge et al., 2018) —, en particulier chez le jeune enfant (Bogaerts et al., 2022 ; Siegelman et al., 2017).

Pour répondre à ces limites, le développement de dispositifs d'évaluation fondés sur plusieurs indicateurs complémentaires, s'appuyant sur une conception multidimensionnelle de l'AS, ainsi que sur des mesures en ligne suivant la dynamique de l'apprentissage au cours de l'exposition, apparaît comme des pistes centrales pour améliorer la qualité psychométrique des mesures, mieux caractériser les différences individuelles et poser les bases nécessaires à toute transposition ultérieure vers des contextes cliniques. La question de l'interprétation concrète de ces mesures au niveau individuel, notamment dans les paradigmes de regard préférentiel, sera examinée dans la section suivante.

Cette approche est cohérente avec des travaux menés en psychologie du développement montrant que la convergence entre paradigmes distincts peut améliorer la détection de différences individuelles précoces et renforcer la pertinence clinique potentielle des mesures. À cet égard, les travaux de Choudhury et al. (2007), par exemple, illustrent l'intérêt de dispositifs d'évaluation composites chez le jeune enfant : deux paradigmes distincts — l'un

centré sur le traitement auditif rapide, l'autre sur les processus d'habituation et de reconnaissance de nouveauté — y fournissent des informations complémentaires quant au risque de difficultés langagières ultérieures, au-delà du seul facteur de risque familial.

Cette logique de complémentarité entre indicateurs converge avec les réflexions plus récentes sur le dépistage précoce des troubles du langage avant 3 ans. Des synthèses récentes soulignent en effet les limites des approches reposant sur un marqueur unique et montrent que la valeur prédictive des protocoles augmente lorsque plusieurs dimensions du développement sont conjointement considérées, notamment les compétences réceptives et expressives, la morphosyntaxe, les gestes communicatifs, les antécédents familiaux ou encore les informations parentales (Sansavini et al., 2021). De même, Law et al. (2023) montrent que les dispositifs de repérage les plus prometteurs reposent sur des mesures brèves mais complémentaires, articulant observations directes et questionnaires parentaux.

Dans cette dynamique, l'intégration systématique de plusieurs types de mesures — expérimentales, parentales et standardisées — apparaît essentielle pour appréhender des compétences en cours de structuration, dont l'expression comportementale peut varier fortement selon les tâches, les modalités de mesure et les moments du développement. Les outils de repérage du langage avant 3 ans se sont historiquement appuyés en grande partie sur des indicateurs lexicaux et productifs, notamment via les inventaires parentaux de vocabulaire, même si les approches récentes tendent à intégrer des dimensions plus larges du développement langagier (Desmarais et al., 2008 ; Law et al., 2023 ; Rescorla, 1989). Cette évolution souligne l'intérêt de développer, en parallèle, des paradigmes susceptibles d'appréhender plus finement les versants réceptifs et morphosyntaxiques, comme ceux mobilisés dans le présent travail.

C'est précisément dans cette perspective, que s'inscrivent les choix méthodologiques opérés dans cette thèse — multiplication de tâches ciblant des modalités spécifiques et recours à des mesures de regard —, bien que les paradigmes utilisés ne permettent pas, à proprement parler, de suivre la dynamique de l'apprentissage en ligne au sens strict proposé par Siegelman et al. (2017). L'absence de sensibilité robuste observée souligne toutefois la complexité de cet enjeu chez le jeune enfant et renforce la nécessité de poursuivre les efforts de développement méthodologique et psychométrique dans cette direction.

Il est toutefois important de souligner que les mesures utilisées aujourd'hui comme références pour l'étude des différences individuelles n'ont acquis leur robustesse qu'au terme de nombreuses années d'ajustements méthodologiques, de répliques et d'optimisation progressive de leur sensibilité et de leur fidélité psychométriques (Cristia et al., 2014). Dans

cette perspective, les limites observées à ce stade pour les tâches d'AS peuvent également être envisagées comme le reflet d'un champ encore en cours de structuration.

6.3.5. Interprétation des profils individuels et trajectoires développementales

La complexité interprétative rencontrée soulève également une limite importante quant à l'applicabilité clinique de tels paradigmes. Si, conformément au modèle de Hunter et Ames (1988), une même réponse comportementale peut renvoyer à des états distincts du traitement selon l'âge de l'enfant, la durée de familiarisation ou les caractéristiques des stimuli, alors l'interprétation d'une mesure ponctuelle au niveau individuel devient particulièrement délicate.

Dans cette perspective, les paradigmes de regard préférentiel paraissent difficilement mobilisables comme outils diagnostiques reposant sur des seuils simples ou sur une lecture binaire des performances. Leur intérêt clinique pourrait résider davantage dans l'identification de profils développementaux, l'étude de trajectoires longitudinales ou leur intégration au sein d'évaluations multimodales combinant plusieurs marqueurs du développement langagier.

Plus spécifiquement, dans une perspective développementale et clinique, l'exploitation des effets observés sur les temps de regard dans les paradigmes d'AS au niveau individuel demeure limitée par leur fiabilité encore incertaine, en raison de leur variabilité et de leur amplitude souvent modeste (Hedge et al., 2018). Dès lors, plutôt que de se fonder uniquement sur l'ampleur des différences de temps de regard entre stimuli grammaticaux et non grammaticaux, il apparaît pertinent de considérer également la direction et la consistance des préférences observées au cours des essais et, idéalement, à travers des mesures répétées.

Plus largement en psychologie, la valeur informative d'un indicateur comportemental repose souvent moins sur son intensité ponctuelle que sur sa stabilité intra-individuelle, sa cohérence temporelle et sa sensibilité aux changements développementaux (Hedge et al., 2018). Dans les paradigmes de regard préférentiel, la direction des préférences (familiarité vs nouveauté), lorsqu'elle est consistante, pourrait fournir des indications sur le stade de traitement des régularités, conformément aux modèles de préférence attentionnelle (Hunter & Ames, 1988), indépendamment de l'amplitude absolue des effets comportementaux.

Si l'absence de préférence comportementale peut refléter un stade transitionnel du traitement ou des contraintes méthodologiques, elle pourrait également, dans certains cas, traduire une sensibilité limitée aux régularités statistiques ciblées ou une mobilisation moindre de ces mécanismes dans le traitement de l'input. Dans cette optique, l'examen de la stabilité des profils individuels et de leur convergence avec d'autres mesures — notamment des indices précoces de développement morphosyntaxique — apparaît comme une voie prometteuse pour

mieux comprendre la contribution de l'AS aux trajectoires langagières, au-delà d'une lecture strictement dichotomique des performances.

Dans une perspective plus largement développementale, il apparaît également nécessaire d'élargir les fenêtres d'âge étudiées et de multiplier les points de mesure afin de mieux identifier de possibles « fenêtres » de sensibilité privilégiée à certains types de régularité et de caractériser les trajectoires non linéaires de l'AS au cours de la petite enfance (Forest et al., 2023 ; Paul et al., 2021). Une approche complémentaire consisterait à raisonner en termes de niveaux linguistiques plutôt qu'en âge chronologique, afin de réduire le bruit lié aux fortes variations interindividuelles. Des études menées dans différentes langues seraient également informatives pour identifier les paramètres linguistiques susceptibles de moduler ces trajectoires développementales (Gonzalez-Gomez et al., 2017 ; Legendre et al., 2014 ; Ren & Wang, 2023).

Au-delà des perspectives relatives aux paradigmes d'AS, les résultats obtenus dans les épreuves de compréhension et de production morphosyntaxique ouvrent également des pistes de recherche spécifiques, qui seront examinées dans la section suivante.

6.3.6. Perspectives sur la morphosyntaxe et l'input linguistique

Au-delà des perspectives relatives aux tâches d'AS, les résultats obtenus dans les épreuves de compréhension et de production morphosyntaxiques ouvrent également plusieurs pistes de recherche. Comme mentionné précédemment, les caractéristiques de l'input linguistique auquel les enfants sont exposés sont cruciales dans l'apprentissage, et les structures évaluées influencent fortement les performances observées.

À cet égard, une perspective intéressante serait d'examiner plus précisément les distributions de l'input à partir de corpus d'interactions naturelles, par exemple issus de CHILDES (MacWhinney, 2000), afin d'estimer la fréquence de type et de token des verbes et formes verbales utilisés dans nos tâches. Cet examen permettrait de mieux caractériser les conditions d'apprentissage auxquelles les enfants sont exposés et d'évaluer notamment leur adéquation avec les prédictions du *Tolerance Principle* (Yang, 2016), selon lesquelles la productivité d'une règle dépend notamment du rapport entre formes régulières et exceptions.

Enfin, ce type d'analyse contribuerait à affiner l'interprétation des résultats observés — qu'il s'agisse de l'absence d'effets robustes dans les tâches de sensibilité ou des niveaux de performance en compréhension et en production — en déterminant dans quelle mesure les conditions distributionnelles favorables à la généralisation étaient effectivement réunies dans l'input adressé aux enfants et dans leurs propres usages linguistiques.

Une autre perspective concerne la nature des tâches utilisées pour évaluer la compréhension et la production morphosyntaxiques. Les modalités de réponse mobilisées peuvent elles-mêmes influencer les performances observées. En compréhension notamment, si le recours au pointage permet d'obtenir une réponse explicite et souvent plus engageante chez le jeune enfant, il mobilise également des composantes motrices et exécutives susceptibles d'interférer avec la mesure des compétences linguistiques cibles (Brandt-Kobele & Höhle, 2010 ; Gavarró & Keidel, 2024).

Les futurs travaux gagneraient ainsi à comparer plus systématiquement différentes modalités de réponse — regard préférentiel, pointage sur support matériel ou tactile, réponses hybrides — afin d'identifier les formats les plus sensibles selon l'âge et les compétences évaluées (Beaudin et al., 2024).

Au-delà de la modalité de réponse, le caractère statique des paradigmes expérimentaux classiques mérite également d'être questionné. Ces derniers reposent le plus souvent sur une mesure ponctuelle de ce que l'enfant réussit de manière autonome, sans prendre en compte la manière dont ses performances peuvent évoluer en présence d'un soutien adapté.

Or, les observations issues de la tâche de production de la présente étude suggèrent que le recours à des étayages adaptés aux réponses des enfants a non seulement favorisé le maintien de l'engagement des enfants et limité l'attrition, mais a également permis à certaines productions d'évoluer favorablement avec soutien. Bien que ces réponses n'aient pas fait l'objet d'analyses présentées dans le cadre de cette thèse — la souplesse du protocole d'étayage risquant de biaiser les résultats —, ces observations encouragent à l'intégration, dans de futurs protocoles, d'un étayage standardisé fondé sur les principes de l'évaluation dynamique (Hasson & Joffe, 2007 ; Peña et al., 2001).

Une telle approche permettrait en effet de mieux distinguer un déficit potentiel d'une compétence encore émergente mais mobilisable avec soutien, offrant ainsi des indications plus fines sur le potentiel d'apprentissage morphosyntaxique des enfants.

6.3.7. AS, processus cognitifs et acquisition du langage

Toutefois, il convient de relativiser la place de la sensibilité aux régularités statistiques dans l'acquisition du langage. Si l'AS constitue un mécanisme contributif important, il s'inscrit vraisemblablement dans un ensemble de processus plus larges qui soutiennent le développement linguistique, incluant notamment des mécanismes d'abstraction, l'exploitation d'indices prosodiques et lexicaux, ainsi que des dimensions interactionnelles et pragmatiques (Kail, 2020 ; Rowland et al., 2025).

De plus, l'expression comportementale de l'AS, telle qu'elle est mesurée dans les paradigmes expérimentaux, dépend fortement de ressources générales comme l'attention et la mémoire, qui conditionnent la capacité à encoder, maintenir et comparer des séquences (Siegelman et al., 2017 ; Thiessen, 2017). Dans ce contexte, la littérature rapportant des résultats parfois contradictoires quant aux liens entre AS, fonctions cognitives et compétences langagières invite à mieux caractériser l'intrication — ou au contraire la dissociabilité — de ces composantes (cf. par ex., Mettler et al., 2026, concernant l'AS, l'attention et la mémoire de travail).

Une perspective centrale consiste ainsi à étudier plus finement comment les mécanismes statistiques interagissent avec les ressources attentionnelles et mnésiques, et comment ces interactions évoluent au cours du développement, plutôt que de considérer l'AS comme un déterminant unique et stable des trajectoires langagières.

Il n'en demeure pas moins que cette thèse a pour but d'explorer la possibilité de perspectives pour la clinique logopédique, tout en soulignant la nécessité d'une grande prudence. Si les données actuelles ne permettent pas une application directe de l'AS comme outil de dépistage ou de diagnostic, plusieurs principes issus de ce cadre — notamment l'attention portée aux caractéristiques statistiques de l'input, à la régularité, à la variabilité et au dosage — peuvent déjà nourrir la réflexion clinique et l'optimisation des interventions, comme développé dans Bodard (2025).

À plus long terme, le développement de tâches d'AS méthodologiquement solides et sensibles aux différences individuelles pourrait contribuer à mieux identifier des profils d'apprentissage précoces, notamment chez les enfants à risque de trouble développemental du langage. Une telle avancée constituerait un apport majeur, tant pour la recherche fondamentale que pour la pratique clinique, à condition de s'appuyer sur des méthodologies robustes et une validation empirique rigoureuse.

7. Conclusion générale

Cette thèse avait pour objectif d'examiner la sensibilité aux régularités statistiques linguistiques chez de jeunes enfants francophones et d'explorer les relations entre ces capacités et le développement du langage, dans une perspective à la fois transversale et longitudinale. En combinant différents types de régularités (adjacentes et non adjacentes), de stimuli (langage artificiel et langue maternelle), de tâches (sensibilité, compréhension ou production) et de méthodes de mesure (eye-tracking, pointage ou production élicitée), elle visait à préciser les conditions dans lesquelles l'apprentissage statistique (AS) peut être observé et à interroger son rôle potentiel dans l'acquisition précoce de la morphosyntaxe.

Les résultats obtenus ne mettent pas en évidence de sensibilité robuste et systématique aux régularités statistiques aux âges étudiés, ni de dissociation claire selon le type de régularité ou la nature du stimulus au niveau du groupe. Cette absence d'effets comportementaux nets ne permet toutefois pas de conclure à une absence d'apprentissage. Elle souligne plutôt la fragilité de l'expression comportementale de la sensibilité aux régularités statistiques chez le jeune enfant et sa forte dépendance aux paramètres méthodologiques, aux exigences attentionnelles des tâches et au développement des participants. Les dynamiques internes observées dans certaines tâches, ainsi que la variabilité interindividuelle marquée, suggèrent que les capacités d'AS suivent des trajectoires développementales complexes et probablement non linéaires, dans lesquelles l'expression d'une préférence peut être tardive, fluctuante, voire s'inverser (familiarité vs nouveauté) selon le niveau de traitement et de consolidation. Ces éléments renforcent l'idée que des paradigmes fondés sur une mesure unique peuvent manquer des apprentissages sous-jacents.

L'examen des relations entre AS et développement langagier ne permet pas d'établir de lien robuste et généralisable entre ces deux capacités. Les associations transversales observées sont faibles et instables, et les analyses longitudinales ne permettent pas d'établir une valeur prédictive robuste et généralisable des performances précoces d'AS pour le développement morphosyntaxique ultérieur. Le lien le plus consistant concerne la sensibilité aux dépendances non adjacentes en langue maternelle à 27 mois et la compréhension morphosyntaxique à 40 mois, mais celui-ci doit être interprété avec prudence, compte tenu de la proximité structurelle importante des tâches et des contraintes psychométriques des mesures utilisées. Pris ensemble, ces résultats suggèrent que, si l'implication des mécanismes d'AS dans le développement du langage est plausible, sa contribution ne se laisse pas facilement isoler à partir de mesures

comportementales précoces et s'inscrit vraisemblablement dans un ensemble de processus développementaux étroitement imbriqués.

En complément de ces analyses, les tâches de compréhension et de production morphosyntaxiques ont permis de documenter finement des compétences grammaticales encore en cours de structuration autour de 40 mois. Elles illustrent également l'intérêt d'affiner des outils expérimentaux ciblant plus directement les versants réceptif et expressif de la morphosyntaxe précoce.

Au-delà des résultats spécifiques, cette thèse contribue à une compréhension plus nuancée du rôle de l'AS dans le développement du langage. Elle met en évidence la complexité des relations entre sensibilité aux régularités et acquisition linguistique, ainsi que les limites des outils actuellement disponibles pour les étudier chez le jeune enfant. En soulignant la nécessité de paradigmes sensibles aux dynamiques développementales non linéaires, de mesures capables de capter des variations fines et transitoires, idéalement « en ligne » et répétées, et de designs longitudinaux adaptés, cette thèse invite à une réflexion critique sur les conditions méthodologiques et conceptuelles dans lesquelles les mécanismes d'AS peuvent être mis en relation avec les trajectoires langagières naturelles.

Dans une perspective plus large, ce travail s'inscrit également dans les réflexions actuelles en logopédie autour de l'identification précoce des trajectoires langagières atypiques. S'il ne permet pas d'envisager d'applications cliniques directes, il met en évidence les défis méthodologiques et psychométriques qui doivent être relevés pour que l'AS puisse, à terme, éclairer la compréhension des différences individuelles en développement du langage.

Bibliographie

- Abreu, R., Leal, A., & Figueiredo, P. (2018). EEG-informed fMRI: A review of data analysis methods. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12(29). <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00029>
- Abreu, R., Postarnak, S., Vulchanov, V., Baggio, G., & Vulchanova, M. (2023). The association between statistical learning and language development during childhood: A scoping review. *Heliyon*, 9(8), e18693. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18693>
- Arnon, I. (2020). Do current statistical learning tasks capture stable individual differences in children? An investigation of task reliability across modality. *Behavior Research Methods*, 52(1), 68-81. <https://doi.org/10.3758/s13428-019-01205-5>
- Aslin, R. N., & Saffran, J. R. (2025). Statistical learning: A core mechanism in a developmental hierarchy. *Current Opinion in Neurobiology*, 95, 103124. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2025.103124>
- Aslin, R. N., Saffran, J. R., & Newport, E. L. (1998). Computation of conditional probability statistics by 8-month-old infants. *Psychological Science*, 9(4), 321-324. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00063>
- Atkinson, J., & Braddick, O. (2013). Visual development. In P. D. Zelazo (Éd.), *The Oxford handbook of developmental Psychology, Vol. 1: Body and Mind* (p. 271-309). Oxford Library of Psychology. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199958450.013.0010>
- Bassano, D. (2000). Early development of nouns and verbs in French: Exploring the interface between lexicon and grammar. *Journal of Child Language*, 27(3), 521-559. <https://doi.org/10.1017/S0305000900004396>
- Bassano, D., Labrell, F., & Bonnet, P. (2020). *Évaluer les débuts du langage avec le DLPF. Lexique, grammaire et pragmatique chez le jeune enfant*. <https://shs.hal.science/halshs-02436994>
- Bates, E. A., & Elman, J. L. (2005). Connectionism and the study of change. In M. H. Johnson, Y. Munakata, & R. O. Gilmore (Éds.), *Brain development and cognition: A reader* (2nd ed., p. 420-440). Blackwell Publishers. <https://doi.org/10.1002/9780470753507.ch21>
- Bates, E., & MacWhinney, B. (1987). Competition, variation, and language learning. In B. MacWhinney (Éd.), *Mechanisms of Language Acquisition* (1st ed.). Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9781315798721>

- Beaudin, K., Poulin-Dubois, D., & Zesiger, P. (2024). Touching while listening: Does infants' haptic word processing speed predict vocabulary development? *Journal of Child Language*, 51(1), 37-55. <https://doi.org/10.1017/S0305000922000423>
- Behrens, H. (2021). Constructivist approaches to first language acquisition. *Journal of Child Language*, 48(5), 959-983. <https://doi.org/10.1017/S0305000921000556>
- Benjamini, Y., & Hochberg, Y. (1995). Controlling the false discovery rate: A practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 57(1), 289-300. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1995.tb02031.x>
- Berlyne, D. E. (1960). *Conflict, arousal, and curiosity* (p. xii, 350). McGraw-Hill Book Company. <https://doi.org/10.1037/11164-000>
- Berwick, R. C., & Chomsky, N. (2016). *Why only us: Language and evolution*. The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/9780262034241.001.0001>
- Bodard, J. (2025). Mécanismes d'apprentissage statistique et langage oral : De la théorie à la clinique. *Glossa*, (144), 42-63. <https://doi.org/10.61989/a6y5fs24>
- Bodard, J., Nazzi, T., Jean-Charles, G., Pedrotti, M., & Skoruppa, K. (2025). Difficulties in nonadjacent dependency learning in French-learning toddlers. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 68(8), 4061-4070. https://doi.org/10.1044/2025_JSLHR-23-00608
- Bogaerts, L., Siegelman, N., Christiansen, M. H., & Frost, R. (2022). Is there such a thing as a 'good statistical learner'? *Trends in Cognitive Sciences*, 26(1), 25-37. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2021.10.012>
- Boisseau, P. (2020). *Enseigner la langue orale en maternelle*. Retz. <https://doi.org/10.14375/NP.9782725639581>
- Bornstein, M. H., & Hendricks, C. (2012). Basic language comprehension and production in >100,000 young children from sixteen developing nations. *Journal of Child Language*, 39(4), 899-918. <https://doi.org/10.1017/S0305000911000407>
- Brandt-Kobele, O.-C., & Höhle, B. (2010). What asymmetries within comprehension reveal about asymmetries between comprehension and production: The case of verb inflection in language acquisition. *Lingua*, 120(8), 1910-1925. <https://doi.org/10.1016/j.lingua.2010.02.008>
- Brooks, M. E., Kristensen, K., van Benthem, K. J., Magnusson, A., Berg, C. W., Nielsen, A., Skaug, H. J., Machler, M., & Bolker, B. M. (2017). glmmTMB balances speed and

- flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling. *The R Journal*, 9(2), 378-400. <https://doi.org/10.32614/RJ-2017-066>
- Brown, R. (1973). *A first language: The early stages*. Harvard University Press. <https://doi.org/10.4159/harvard.9780674732469>
- Bybee, J. (1995). Regular morphology and the lexicon. *Language and Cognitive Processes*, 10(5), 425-455. <https://doi.org/10.1080/01690969508407111>
- Chaput, K., & Laurent, P. (2020). *Démographie de l'Île-de-France en 2018—Insee flash Ile-de-France—47*. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4279519>
- Chomsky, N. (1969). *Structures syntaxiques*. Éditions du Seuil.
- Chomsky, N. (2013). Problems of projection. *Lingua, SI: Syntax and cognition: core ideas and results in syntax*, 130, 33-49. <https://doi.org/10.1016/j.lingua.2012.12.003>
- Choudhury, N., Leppanen, P. H. T., Leevers, H. J., & Benasich, A. A. (2007). Infant information processing and family history of specific language impairment: Converging evidence for RAP deficits from two paradigms. *Developmental Science*, 10(2), 213-236. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2007.00546.x>
- Christophe, A., Millotte, S., Bernal, S., & Lidz, J. (2008). Bootstrapping Lexical and Syntactic Acquisition. *Language and Speech*, 51(1-2), 61-75. <https://doi.org/10.1177/00238309080510010501>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>
- Colombo, J., & Mitchell, D. W. (2009). Infant visual habituation. *Neurobiology of Learning and Memory*, 92(2), 225-234. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2008.06.002>
- Cristia, A., Seidl, A., Junge, C., Soderstrom, M., & Hagoort, P. (2014). Predicting individual variation in language from infant speech perception measures. *Child Development*, 85(4), 1330-1345. <https://doi.org/10.1111/cdev.12193>
- Cruz-Pavía, I. de la, Marino, C., & Gervain, J. (2021). Learning word order: Early beginnings. *Trends in Cognitive Sciences*, 25(9), 802-812. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2021.04.011>
- Culbertson, J., Koulaguina, E., Gonzalez-Gomez, N., Legendre, G., & Nazzi, T. (2016). Developing knowledge of nonadjacent dependencies. *Developmental Psychology*, 52(12), 2174-2183. <https://doi.org/10.1037/dev0000246>

- de Carvalho, A., Babineau, M., Trueswell, J. C., Waxman, S. R., & Christophe, A. (2019). Studying the real-time interpretation of novel noun and verb meanings in young children. *Frontiers in Psychology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00274>
- de Carvalho, A., He, A. X., Lidz, J., & Christophe, A. (2019). Prosody and function words cue the acquisition of word meanings in 18-month-old infants. *Psychological Science*, 30(3), 319-332. <https://doi.org/10.1177/0956797618814131>
- DePaolis, R. A., Keren-Portnoy, T., & Vihman, M. (2016). Making sense of infant familiarity and novelty responses to words at lexical onset. *Frontiers in Psychology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00715>
- Desmarais, C., Sylvestre, A., Meyer, F., Bairati, I., & Rouleau, N. (2008). Systematic review of the literature on characteristics of late-talking toddlers. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 43(4), 361-389. <https://doi.org/10.1080/13682820701546854>
- Elman, J. L. (1990). Finding structure in time. *Cognitive Science*, 14(2), 179-211. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1402_1
- Elman, J. L. (1993). Learning and development in neural networks: The importance of starting small. *Cognition*, 48(1), 71-99. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(93\)90058-4](https://doi.org/10.1016/0010-0277(93)90058-4)
- Elman, J. L., Bates, E. A., Johnson, M. H., Parisi, D., & Plunkett, K. (1996). *Rethinking innateness: A connectionist perspective on development*. The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/5929.001.0001>
- Endress, A. D., & Bonatti, L. L. (2016). Words, rules, and mechanisms of language acquisition. *WIREs Cognitive Science*, 7(1), 19-35. <https://doi.org/10.1002/wcs.1376>
- Erickson, L. C., & Thiessen, E. D. (2015). Statistical learning of language: Theory, validity, and predictions of a statistical learning account of language acquisition. *Developmental Review*, 37, 66-108. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2015.05.002>
- Evans, J. L., Saffran, J. R., & Robe-Torres, K. (2009). Statistical learning in children with specific language impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 52(2), 321-335. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2009/07-0189\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2009/07-0189))
- Falk, Y. N. (2003). The English auxiliary system revisited. In M. Butt & T. Holloway King (Éds.), *Proceedings of the LFG03 Conference* (p. 184-204). CSLI Publications. <https://web.stanford.edu/group/cslipublications/cslipublications/LFG/8/pdfs/lfg03.pdf#page=188>

- Fenson, L., Marchman, V. A., Thal, D. J., Dale, P. S., Reznick, J. S., & Bates, E. (2006). *MacArthur-Bates communicative development inventories, Second Edition*. <https://doi.org/10.1037/t11538-000>
- Fló, A., Brusini, P., Macagno, F., Nespor, M., Mehler, J., & Ferry, A. L. (2019). Newborns are sensitive to multiple cues for word segmentation in continuous speech. *Developmental Science*, 22(4). <https://doi.org/10.1111/desc.12802>
- Forest, T. A., Schlichting, M. L., Duncan, K. D., & Finn, A. S. (2023). Changes in statistical learning across development. *Nature Reviews Psychology*, 2, 205-219. <https://doi.org/10.1038/s44159-023-00157-0>
- Frost, R., Armstrong, B. C., & Christiansen, M. H. (2019). Statistical learning research: A critical review and possible new directions. *Psychological Bulletin*, 145(12), 1128-1153. <https://doi.org/10.1037/bul0000210>
- Frost, R. L. A., Jessop, A., Durrant, S., Peter, M. S., Bidgood, A., Pine, J. M., Rowland, C. F., & Monaghan, P. (2020). Non-adjacent dependency learning in infancy, and its link to language development. *Cognitive Psychology*, 120, 101291. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2020.101291>
- Gavarró, A., & Keidel, A. (2024). Subject–verb agreement: Three experiments on Catalan. *First Language*, 44(4), 372-394. <https://doi.org/10.1177/01427237241252873>
- Gignac, G. E., & Szodorai, E. T. (2016). Effect size guidelines for individual differences researchers. *Personality and Individual Differences*, 102, 74-78. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2016.06.069>
- Girard, C. (2019). *Les naissances au Québec et dans les régions en 2018. Données sociodémographiques en bref*, 23(3). Institut de la statistique du Québec. <https://statistique.quebec.ca/en/fichier/les-naissances-au-quebec-et-dans-les-regions-en-2018.pdf>
- Gleitman, L., & Landau, B. (Eds.). (1994). *The acquisition of the lexicon*. The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/1075.001.0001>
- Gómez, R. L. (2002). Variability and detection of invariant structure. *Psychological Science*, 13(5), 431-436. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00476>
- Gonzalez-Gomez, N., Hsin, L., Barrière, I., Nazzi, T., & Legendre, G. (2017). Agarra, agarran : Evidence of early comprehension of subject–verb agreement in Spanish. *Journal of Experimental Child Psychology*, 160, 33-49. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2017.02.010>

- Goyet, L., Nishibayashi, L.-L., & Nazzi, T. (2013). Early syllabic segmentation of fluent speech by infants acquiring French. *PLoS ONE*, 8(11), e79646. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079646>
- Graf Estes, K., Evans, J. L., Alibali, M. W., & Saffran, J. R. (2007). Can infants map meaning to newly segmented words? : Statistical segmentation and word learning. *Psychological Science*, 18(3), 254-260. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01885.x>
- Gredebäck, G., Johnson, S., & von Hofsten, C. (2009). Eye tracking in infancy research. *Developmental Neuropsychology*, 35(1), 1-19. <https://doi.org/10.1080/87565640903325758>
- Hasson, N., & Joffe, V. (2007). The case for dynamic assessment in speech and language therapy. *Child Language Teaching and Therapy*, 23(1), 9-25. <https://doi.org/10.1177/0265659007072142>
- Hedge, C., Powell, G., & Sumner, P. (2018). The reliability paradox: Why robust cognitive tasks do not produce reliable individual differences. *Behavior Research Methods*, 50(3), 1166-1186. <https://doi.org/10.3758/s13428-017-0935-1>
- Hedges, L. V. (1981). Distribution theory for glass's estimator of effect size and related estimators. *Journal of Educational Statistics*, 6(2), 107-128. <https://doi.org/10.3102/10769986006002107>
- Helloin, M.-C., & Thibault, M.-P. (2006). *EXALang 3-6 : Examen des troubles du langage et de la parole*. OrthoMotus. <https://www.happyneuronpro.com/orthophonie/espace-evaluation/exalang-3-6/>
- Helo, A., van Ommen, S., Pannasch, S., Danten-Dordoigne, L., & Rämä, P. (2017). Influence of semantic consistency and perceptual features on visual attention during scene viewing in toddlers. *Infant Behavior and Development*, 49, 248-266. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2017.09.008>
- Hendriks, P., & Koster, C. (2010). Production/comprehension asymmetries in language acquisition. *Lingua, Asymmetries in Language Acquisition*, 120(8), 1887-1897. <https://doi.org/10.1016/j.lingua.2010.02.002>
- Hoareau, M., Yeung, H. H., & Nazzi, T. (2019). Infants' statistical word segmentation in an artificial language is linked to both parental speech input and reported production abilities. *Developmental Science*, 22(4), e12803. <https://doi.org/10.1111/desc.12803>
- Höhle, B. (2009). Bootstrapping mechanisms in first language acquisition. *Linguistics*, 47(2). <https://doi.org/10.1515/LING.2009.013>

- Houston, D. M., Horn, D. L., Qi, R., Ting, J. Y., & Gao, S. (2007). Assessing speech discrimination in individual infants. *Infancy*, 12(2), 119-145. <https://doi.org/10.1111/j.1532-7078.2007.tb00237.x>
- Houston-Price, C., & Nakai, S. (2004). Distinguishing novelty and familiarity effects in infant preference procedures. *Infant and Child Development*, 13(4), 341-348. <https://doi.org/10.1002/icd.364>
- Hsin, L. B., Gonzalez-Gomez, N., Barrière, I., Nazzi, T., & Legendre, G. (2022). Converging evidence of underlying competence: Comprehension and production in the acquisition of Spanish subject-verb agreement. *Journal of Child Language*, 49(5), 851-868. <https://doi.org/10.1017/S0305000921000301>
- Hunter, M. A., & Ames, E. W. (1988). A multifactor model of infant preferences for novel and familiar stimuli. *Advances in Infancy Research*, 5, 69-95.
- Isbilen, E. S., & Christiansen, M. H. (2022). Statistical learning of language: A meta-analysis into 25 years of research. *Cognitive Science*, 46(9), e13198. <https://doi.org/10.1111/cogs.13198>
- Jhangiani, R. S., Chiang, I.-C. A., Cuttler, C., & Leighton, D. C. (2019). *Experimental design*. <https://kpu.pressbooks.pub/psychmethods4e/chapter/experimental-design/>
- Johansson, M., Marciszko, C., Gredebäck, G., Nyström, P., & Bohlin, G. (2015). Sustained attention in infancy as a longitudinal predictor of self-regulatory functions. *Infant Behavior and Development*, 41, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2015.07.001>
- Johnson, E. K., & Jusczyk, P. W. (2001). Word segmentation by 8-month-olds: When speech cues count more than statistics. *Journal of Memory and Language*, 44(4), 548-567. <https://doi.org/10.1006/jmla.2000.2755>
- Johnson, E. K., & Tyler, M. D. (2010). Testing the limits of statistical learning for word segmentation. *Developmental Science*, 13(2), 339-345. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2009.00886.x>
- Junge, C., Everaert, E., Porto, L., Fikkert, P., de Klerk, M., Keij, B., & Benders, T. (2020). Contrasting behavioral looking procedures: A case study on infant speech segmentation. *Infant Behavior and Development*, 60, 101448. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2020.101448>
- Kail, M. (2020). *L'Acquisition du langage : 3e éd.* Presses Universitaires de France. Cairn.info. <https://doi.org/10.3917/puf.kail.2020.01>

- Karmiloff-Smith, A. (1994). Beyond modularity: A developmental perspective on cognitive science. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 29(1), 95-105. <https://doi.org/10.3109/13682829409041485>
- Kerkhoff, A., Bree, E. D., Klerk, M. D., & Wijnen, F. (2013). Non-adjacent dependency learning in infants at familial risk of dyslexia. *Journal of Child Language*, 40(1), 11-28. <https://doi.org/10.1017/S0305000912000098>
- Kern, S., & Gayraud, F. (2018). *IFDC 8-30 mois : Inventaire français du développement communicatif*. Les Éditions de la Cigale.
- Kidd, C., Piantadosi, S. T., & Aslin, R. N. (2012). The goldilocks effect: Human infants allocate attention to visual sequences that are neither too simple nor too complex. *PLOS ONE*, 7(5), e36399. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0036399>
- Kooiker, M. J. G., van der Steen, J., & Pel, J. J. M. (2014). Reliability of visual orienting response measures in children with and without visual impairments. *Journal of Neuroscience Methods*, 233, 54-62. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2014.06.005>
- Kosie, J. E., Zettersten, M., Abu-Zhaya, R., Amso, D., Babineau, M., Baumgartner, H., Bazhydai, M., Belia, M., Benavides-Varela, S., Bergmann, C., Berteletti, I., Black, A., Borges, P., Borovsky, A., Byers-Heinlein, K., Cabrera, L., Calignano, G., Cao, A., Chijiwa, H., ... Lew-Williams, C. (2024). *ManyBabies 5: A large-scale investigation of the proposed shift from familiarity preference to novelty preference in infant looking time Pre-data collection manuscript for peer-review The ManyBabies 5 Team*. <https://doi.org/10.31234/osf.io/ck3vd>
- Koulaguina, E., & Shi, R. (2019). Rule generalization from inconsistent input in early infancy. *Language Acquisition*, 26(4), 416-435. <https://doi.org/10.1080/10489223.2019.1572148>
- Kuhl, P. K. (2004). Early language acquisition: Cracking the speech code. *Nature Reviews Neuroscience*, 5(11), 831-843. <https://doi.org/10.1038/nrn1533>
- Kuhl, P. K. (2007). Is speech learning ‘gated’ by the social brain? *Developmental Science*, 10(1), 110-120. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2007.00572.x>
- Lammertink, I., Boersma, P., Wijnen, F., & Rispens, J. (2020). Children with developmental language disorder have an auditory verbal statistical learning deficit: Evidence from an online measure. *Language Learning*, 70(1), 137-178. <https://doi.org/10.1111/lang.12373>

- Law, J., Charlton, J., Wilson, P., Rush, R., Gilroy, V., & McKean, C. (2023). The development and productivity of a measure for identifying low language abilities in children aged 24–36 months. *BMC Pediatrics*, 23(1), 495. <https://doi.org/10.1186/s12887-023-04079-x>
- Legendre, G., Culbertson, J., Zaroukian, E., Hsin, L., Barrière, I., & Nazzi, T. (2014). Is children's comprehension of subject–verb agreement universally late? Comparative evidence from French, English, and Spanish. *Lingua, SI: How Children Learn to Detect and Interpret Agreement Morphology: A Crosslinguistic Perspective*, 144, 21-39. <https://doi.org/10.1016/j.lingua.2013.05.004>
- Leroy, S., Parisse, C., & Maillart, C. (2009). Les difficultés morphosyntaxiques des enfants présentant des troubles spécifiques du langage oral : Une approche constructiviste. *Rééducation Orthophonique*, 238, 21-45. <https://hdl.handle.net/2268/24744>
- Lidz, J., & Gagliardi, A. (2015). How nature meets nurture: Universal grammar and statistical learning. *Annual Review of Linguistics*, 1(1), 333-353. <https://doi.org/10.1146/annurev-linguist-030514-125236>
- MacWhinney, B. (2000). *The CHILDES Project: Tools for analyzing talk: The database, Vol. 2*, (3rd ed., Vol. 2, p. viii, 418). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- ManyBabies Consortium. (2020). Quantifying sources of variability in infancy research using the infant-directed-speech preference. *Advances in Methods and Practices in Psychological Science*, 3(1), 24-52. <https://doi.org/10.1177/2515245919900809>
- Marquis, A., Royle, P., Gonnerman, L., & Rvachew, S. (2012). La conjugaison du verbe en début de scolarisation. *TIPA. Travaux interdisciplinaires sur la parole et le langage*, (28). <https://doi.org/10.4000/tipa.201>
- Maye, J., Werker, J. F., & Gerken, L. (2002). Infant sensitivity to distributional information can affect phonetic discrimination. *Cognition*, 82(3), B101-B111. [https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(01\)00157-3](https://doi.org/10.1016/S0010-0277(01)00157-3)
- Mersad, K., & Nazzi, T. (2012). When mommy comes to the rescue of statistics: Infants combine top-down and bottom-up cues to segment speech. *Language Learning and Development*, 8(3), 303-315. <https://doi.org/10.1080/15475441.2011.609106>
- Metsala, J. L., & Walley, A. C. (1998). Spoken vocabulary growth and the segmental restructuring of lexical representations: Precursors to phonemic awareness and early reading ability. In J. L. Metsala & Ehri (Éds.), *Word Recognition in Beginning Literacy* (p. 89-120). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

- Mettler, H. M., Alt, M., Kapa, L. L., & Plante, E. (2026). Auditory statistical learning in young children: The feasibility of a novel task and the role of attention and working memory. *Journal of Experimental Child Psychology*, 263, 106405. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2025.106405>
- Mindell, J. A., Leichman, E. S., Composto, J., Lee, C., Bhullar, B., & Walters, R. M. (2016). Development of infant and toddler sleep patterns: Real-world data from a mobile application. *Journal of Sleep Research*, 25(5), 508-516. <https://doi.org/10.1111/jsr.12414>
- Misyak, J. B., & Christiansen, M. H. (2012). Statistical learning and language: An individual differences study. *Language Learning*, 62(1), 302-331. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9922.2010.00626.x>
- Morgan, J. L., & Demuth, K. (Éds.). (2014). *Signal to syntax: Bootstrapping from speech to grammar in early acquisition*. Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9781315806822>
- Mueller, J. L., Friederici, A. D., & Männel, C. (2019). Developmental changes in automatic rule-learning mechanisms across early childhood. *Developmental Science*, 22(1), e12700. <https://doi.org/10.1111/desc.12700>
- Mumtaz, W., Rasheed, S., & Irfan, A. (2021). Review of challenges associated with the EEG artifact removal methods. *Biomedical Signal Processing and Control*, 68, 102741. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.102741>
- Nazzi, T., Barrière, I., Goyet, L., Kresh, S., & Legendre, G. (2011). Tracking irregular morphophonological dependencies in natural language: Evidence from the acquisition of subject-verb agreement in French. *Cognition*, 120(1), 119-135. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2011.03.004>
- Nazzi, T., Iakimova, G., Bertoncini, J., Frédonie, S., & Alcantara, C. (2006). Early segmentation of fluent speech by infants acquiring French: Emerging evidence for crosslinguistic differences. *Journal of Memory and Language*, 54(3), 283-299. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2005.10.004>
- Nielsen, M., Haun, D., Kärtner, J., & Legare, C. H. (2017). The persistent sampling bias in developmental psychology: A call to action. *Journal of Experimental Child Psychology*, 162, 31-38. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2017.04.017>
- Oakes, L. M. (2012). Advances in eye tracking in infancy research. *Infancy*, 17(1), 1-8. <https://doi.org/10.1111/j.1532-7078.2011.00101.x>

- Office fédéral de la statistique. (2021, janvier 25). *Le plurilinguisme gagne du terrain en Suisse : 68% de la population utilisent régulièrement plus d'une langue - Enquête sur la langue, la religion et la culture 2019* | Press release. Federal Statistical Office. <https://www.bfs.admin.ch/asset/fr/15384141>
- Office fédéral de la statistique. (2025, août 14). *Une Suisse multilingue : La majorité de la population utilise régulièrement plusieurs langues - Pratiques linguistiques. Enquête sur la langue, la religion et la culture 2024* | Communiqué de presse. Office fédéral de la statistique. <https://www.bfs.admin.ch/asset/fr/34788124>
- Paul, M., Männel, C., van der Kant, A., Mueller, J. L., Höhle, B., Wartenburger, I., & Friederici, A. D. (2021). Gradual development of non-adjacent dependency learning during early childhood. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 50, 100975. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2021.100975>
- Pelucchi, B., Hay, J. F., & Saffran, J. R. (2009). Statistical learning in a natural language by 8-month-old infants. *Child Development*, 80(3), 674-685. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2009.01290.x>
- Peña, E., Iglesias, A., & Lidz, C. S. (2001). Reducing test bias through dynamic assessment of children's word learning ability. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 10(2), 138-154. [https://doi.org/10.1044/1058-0360\(2001/014\)](https://doi.org/10.1044/1058-0360(2001/014))
- Peña, M., Bonatti, L. L., Nespor, M., & Mehler, J. (2002). Signal-Driven Computations in Speech Processing. *Science*, 298(5593), 604-607. <https://doi.org/10.1126/science.1072901>
- Peperkamp, S., Le Calvez, R., Nadal, J.-P., & Dupoux, E. (2006). The acquisition of allophonic rules: Statistical learning with linguistic constraints. *Cognition*, 101(3), B31-B41. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2005.10.006>
- Perruchet, P., & Pacton, S. (2006). Implicit learning and statistical learning: One phenomenon, two approaches. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(5), 233-238. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.03.006>
- Pinker, S. (1998). Words and rules. *Lingua, Language Acquisition Knowledge Representation and Processing*, 106(1), 219-242. [https://doi.org/10.1016/S0024-3841\(98\)00035-7](https://doi.org/10.1016/S0024-3841(98)00035-7)
- Place, S., & Hoff, E. (2011). Properties of dual language exposure that influence 2-year-olds' bilingual proficiency. *Child Development*, 82(6), 1834-1849. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2011.01660.x>
- Popper, K. R. (1959). *The logic of scientific discovery* (p. 480). Basic Books.

- R Core Team. (2024). *R: A language and environment for statistical computing* (Version 4.3.3) [Logiciel]. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Ren, J., & Wang, M. (2023). Development of statistical learning ability across modalities, domains, and languages. *Journal of Experimental Child Psychology*, 226, 105570. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2022.105570>
- Rescorla, L. (1989). The language development survey. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 54(4), 587-599. <https://doi.org/10.1044/jshd.5404.587>
- Riches, N. G. (2012). Sentence repetition in children with specific language impairment: An investigation of underlying mechanisms. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 47(5), 499-510. <https://doi.org/10.1111/j.1460-6984.2012.00158.x>
- Robinson, C. W., & Sloutsky, V. M. (2019). Two mechanisms underlying auditory dominance: Overshadowing and response competition. *Journal of Experimental Child Psychology*, 178, 317-340. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2018.10.001>
- Romberg, A. R., & Saffran, J. R. (2010). Statistical learning and language acquisition. *WIREs Cognitive Science*, 1(6), 906-914. <https://doi.org/10.1002/wcs.78>
- Rondal, J.-A. (2018). *Le mythe de l'innéité du langage : Essai de linguistique*. Mardaga. <https://doi.org/10.3917/mard.ronda.2018.01>
- Rowland, C. F., Westermann, G., Theakston, A. L., Pine, J. M., Monaghan, P., & Lieven, E. V. M. (2025). Constructing language: A framework for explaining acquisition. *Trends in Cognitive Sciences*, 30(1), 26-39. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2025.05.015>
- Royle, P., Beritognolo, G., & Bergeron, E. (2012). Regularity, sub-regularity and irregularity in French acquisition. *Irregularity in Morphology (and Beyond)*, 227-250.
- Rumelhart, D. E., & McClelland, J. L. (1986). On learning the past tense of English verbs. In D. E. Rumelhart, J. L. McClelland, & PDP Research Group (Éds.), *Parallel Distributed Processing, Volume 2: Explorations in the Microstructure of Cognition: Psychological and Biological Models* (p. 216-271). The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/5237.003.0008>
- Saffran, J. R. (2020). Statistical language learning in infancy. *Child Development Perspectives*, 14(1), 49-54. <https://doi.org/10.1111/cdep.12355>
- Saffran, J. R., Aslin, R. N., & Newport, E. L. (1996). Statistical learning by 8-month-old infants. *Science*, 274(5294), 1926-1928. <https://doi.org/10.1126/science.274.5294.1926>

- Saffran, J. R., Newport, E. L., & Aslin, R. N. (1996). Word segmentation: The role of distributional cues. *Journal of Memory and Language*, 35(4), 606-621. <https://doi.org/10.1006/jmla.1996.0032>
- Salazar-Orvig, A. (2019). Approches théoriques actuelles de l'acquisition du langage. In S. Kern (Éd.), *Le développement du langage chez le jeune enfant : Théorie, clinique, pratique* (p. 13-51). De Boeck Supérieur. <https://doi.org/10.3917/dbu.kern.2019.01.0013>
- Salinas-Marchant, C., & MacLeod, A. A. N. (2022). Audiovisual speech perception in children: A scoping review. *Speech, Language and Hearing*, 25(4), 433-449. <https://doi.org/10.1080/2050571X.2021.1923302>
- Sansavini, A., Favilla, M. E., Guasti, M. T., Marini, A., Millepiedi, S., Di Martino, M. V., Vecchi, S., Battajon, N., Bertolo, L., Capirci, O., Carretti, B., Colatei, M. P., Frioni, C., Marotta, L., Massa, S., Michelazzo, L., Pecini, C., Piazzalunga, S., Pieretti, M., ... Lorusso, M. L. (2021). Developmental language disorder: Early predictors, age for the diagnosis, and diagnostic tools. A scoping review. *Brain Sciences*, 11(5), 654. <https://doi.org/10.3390/brainsci11050654>
- Santelmann, L. M., & Jusczyk, P. W. (1998). Sensitivity to discontinuous dependencies in language learners: Evidence for limitations in processing space. *Cognition*, 69(2), 105-134. [https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(98\)00060-2](https://doi.org/10.1016/S0010-0277(98)00060-2)
- Santolin, C., Garcia-Castro, G., Zettersten, M., Sebastian-Galles, N., & Saffran, J. R. (2021). Experience with research paradigms relates to infants' direction of preference. *Infancy*, 26(1), 39-46. <https://doi.org/10.1111/inf.12372>
- Service de statistique du canton de Neuchâtel. (s.d.). *Bilan démographique – Portail statistique*. ne.ch. Consulté 5 mai 2026, à l'adresse <https://stat.ne.ch/li.html>
- Shafro, C. L., Conway, C. M., Field, S. L., & Houston, D. M. (2012). Visual sequence learning in infancy: Domain-general and domain-specific associations with language. *Infancy*, 17(3), 247-271. <https://doi.org/10.1111/j.1532-7078.2011.00085.x>
- Shi, R. (2014). Functional morphemes and early language acquisition. *Child Development Perspectives*, 8(1), 6-11. <https://doi.org/10.1111/cdep.12052>
- Shi, R., & Emond, E. (2023). The threshold of rule productivity in infants. *Frontiers in Psychology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1251124>
- Shi, R., Marquis, A., & Gauthier, B. (2006). Segmentation and representation of function words in preverbal French-learning infants. *Proceedings of the 30th Annual Boston University*

- Conference on Language Development*, 549-560.
https://www.gr.uqam.ca/Publications/shi_marquis_gauthier_2006.pdf
- Shi, R., & Melançon, A. (2010). Syntactic categorization in French-learning infants. *Infancy*, 15(5), 517-533. <https://doi.org/10.1111/j.1532-7078.2009.00022.x>
- Siegelman, N., Bogaerts, L., Christiansen, M. H., & Frost, R. (2017). Towards a theory of individual differences in statistical learning. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 372(1711), 20160059. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0059>
- Singh, L., Cristia, A., Karasik, L. B., Rajendra, S. J., & Oakes, L. M. (2023). Diversity and representation in infant research: Barriers and bridges toward a globalized science of infant development. *Infancy*, 28(4), 708-737. <https://doi.org/10.1111/infa.12545>
- Slater, A. (2004). Novelty, familiarity, and infant reasoning. *Infant and Child Development*, 13(4), 353-355. <https://doi.org/10.1002/icd.356>
- Smith, L., & Yu, C. (2008). Infants rapidly learn word-referent mappings via cross-situational statistics. *Cognition*, 106(3), 1558-1568. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2007.06.010>
- Snyder, M. N., & Mares, M.-L. (2021). Preschoolers' choices of television characters as sources of information: Effects of character type, format, and topic domain. *Journal of Experimental Child Psychology*, 203, 105034. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2020.105034>
- Stokes, S. F., Kern, S., & Santos, C. D. (2012). Extended Statistical Learning as an account for slow vocabulary growth. *Journal of Child Language*, 39(1), 105-129. <https://doi.org/10.1017/S0305000911000031>
- Storkel, H. L. (2001). Learning new words: Phonotactic probability in language development. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 44(6), 1321-1337. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2001/103\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2001/103))
- Sundara, M., Ngon, C., Skoruppa, K., Feldman, N. H., Onario, G. M., Morgan, J. L., & Peperkamp, S. (2018). Young infants' discrimination of subtle phonetic contrasts. *Cognition*, 178, 57-66. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2018.05.009>
- Teinonen, T., Fellman, V., Näätänen, R., Alku, P., & Huotilainen, M. (2009). Statistical language learning in neonates revealed by event-related brain potentials. *BMC Neuroscience*, 10(1), 21. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-10-21>

- Thiessen, E. D. (2017). What's statistical about learning? Insights from modelling statistical learning as a set of memory processes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 372(1711), 20160056. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0056>
- Thiessen, E. D., & Erickson, L. C. (2013). Discovering words in fluent speech: The contribution of two kinds of statistical information. *Frontiers in Psychology*, 3. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00590>
- Tomasello, M. (2007). Acquiring linguistic constructions. In W. Damon, R. M. Lerner, D. Kuhn, & R. Siegler (Eds.), *Handbook of Child Psychology*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470147658.chpsy0206>
- Ud Deen, K. (2017). The acquisition of morphology. In E. M. Fernández & H. S. Cairns (Eds.), *The Handbook of Psycholinguistics* (1st ed., p. 567-592). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118829516.ch25>
- Valkenburg, P. M., & Vroone, M. (2004). Developmental changes in infants' and toddlers' attention to television entertainment. *Communication Research*, 31(3), 288-311. <https://doi.org/10.1177/0093650204263435>
- van Der Lely, H. K. J. (1997). Language and cognitive development in a grammatical SLI boy: Modularity and innateness. *Journal of Neurolinguistics*, 10(2-3), 75-107. [https://doi.org/10.1016/S0911-6044\(97\)00011-0](https://doi.org/10.1016/S0911-6044(97)00011-0)
- van Heugten, M., & Shi, R. (2010). Infants' sensitivity to non-adjacent dependencies across phonological phrase boundaries. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 128(5), EL223-EL228. <https://doi.org/10.1121/1.3486197>
- Veneziano, E. (2019). Les débuts de la grammaire chez le jeune enfant : Combinaison des mots et morphologie grammaticale. In S. Kern (Éd.), *Le développement du langage chez les jeunes enfants* (p. 143-174). De Boeck Supérieur.
- Vihman, M. M. (1996). *Phonological development: The origins of language in the child* (p. xiv, 312). Blackwell Publishing.
- Vihman, M. M. (2014). *Phonological development: The first two years*. Wiley-Blackwell. <http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-1118342798.html>
- Wang, R., Ma, Y., Zhao, R., Ding, J., Li, L., Yang, Y., Wang, F., Cao, Z., Zhang, X., Lin, X., & Ning, X. (2025). Noise and artifact suppression in SQUID and wearable OPM-MEG: A systematic review of background, physiological, and technical interference. *NeuroImage*, 318, 121403. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2025.121403>

- Werker, J. F., & Curtin, S. (2005). PRIMIR: A developmental framework of infant speech processing. *Language Learning and Development*, 1(2), 197-234. <https://doi.org/10.1080/15475441.2005.9684216>
- Werker, J. F., Polka, L., & Pegg, J. E. (1997). The conditioned head turn procedure as a method for testing infant speech perception. *Early Development and Parenting*, 6(3-4), 171-178. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0917\(199709/12\)6:3/4<171::AID-EDP156>3.0.CO;2-H](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0917(199709/12)6:3/4<171::AID-EDP156>3.0.CO;2-H)
- Werker, J. F., & Tees, R. C. (1984). Cross-language speech perception: Evidence for perceptual reorganization during the first year of life. *Infant Behavior and Development*, 7(1), 49-63. [https://doi.org/10.1016/S0163-6383\(84\)80022-3](https://doi.org/10.1016/S0163-6383(84)80022-3)
- West, G., Melby-Lervåg, M., & Hulme, C. (2021). Is a procedural learning deficit a causal risk factor for developmental language disorder or dyslexia? A meta-analytic review. *Developmental Psychology*, 57(5), 749-770. <https://doi.org/10.1037/dev0001172>
- Yang, C. (2016). *The price of linguistic productivity: How children learn to break the rules of language*. The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/9780262035323.001.0001>

Annexe A

Classification du niveau éducatif créée pour l'étude

Catégorie	Cursus scolaire suisse	Cursus scolaire français
1 – Scolarité obligatoire	- Fin de l'école obligatoire (11^e / fin du secondaire I ; pas de diplôme)	- Fin du collège (3^e) avec ou sans Diplôme national du brevet
2 – Secondaire professionnel court	- Certificat fédéral de capacité (CFC) - Certificat d'école de culture générale - Attestation fédérale de formation professionnelle	- Certificat d'aptitude professionnelle (CAP) - Brevet d'études professionnelles (BEP)
3 – Secondaire professionnel long	- Maturité professionnelle	- Baccalauréat professionnel
4 – Secondaire général	- Maturité gymnasiale - Maturité spécialisée	- Baccalauréat général - Baccalauréat technologique
5 – Supérieur court	Formation professionnelle supérieure : - Diplôme fédéral - Brevet fédéral - Diplôme d'écoles supérieures	- Diplôme universitaire de technologie (DUT) - Brevet de technicien supérieur (BTS) - Licences professionnelles
6 – Supérieur long	- Diplôme d'une haute école (HE) - Diplôme universitaire (niveaux BA, MA, PhD)	- Diplôme d'ingénieur - Diplôme universitaire - Diplôme d'tat

Annexe B

Liste des items de la tâche de discrimination de dépendances non adjacentes en français

Singulier	
Grammatical	Non grammatical
La fille finit le vippe	La fille finissent le vippe
La fille nourrit le taque	La fille nourrissent le taque
La fille conduit le duce	La fille conduisent le duce
La fille construit le pugue	La fille construisent le pugue
La fille mord le tice	La fille mordent le tice
La fille perd le mique	La fille perdent le mique
Pluriel	
Grammatical	Non grammatical
Les filles finissent le vippe	Les filles finit le vippe
Les filles nourrissent le taque	Les filles nourrit le taque
Les filles conduisent le duce	Les filles conduit le duce
Les filles construisent le pugue	Les filles construit le pugue
Les filles mordent le tice	Les filles mord le tice
Les filles perdent le mique	Les filles perd le mique
Passé	
Grammatical	Non grammatical
La fille a fini le vippe	La fille a finir le vippe
La fille a nourri le taque	La fille a nourrir le taque
La fille a conduit le duce	La fille a conduire le duce
La fille a construit le pugue	La fille a construire le pugue
La fille a mordu le tice	La fille a mordre le tice
La fille a perdu le mique	La fille a perdre le mique
Futur	
Grammatical	Non grammatical
La fille va finir le vippe	La fille va fini le vippe
La fille va nourrir le taque	La fille va nourri le taque
La fille va conduire le duce	La fille va conduit le duce
La fille va construire le pugue	La fille va construit le pugue
La fille va mordre le tice	La fille va mordu le tice
La fille va perdre le mique	La fille va perdu le mique

Annexe C

Ordre des blocs et des essais en fonction des 4 groupes de participants pour contrebalancements des stimuli auditifs de la tâche de DNA2

	Bloc 1				Bloc 2				Bloc 3				Bloc 4			
Gr 1	Nombre 1				Temps 1				Temps 2				Nombre 2			
	G-SG	NG-PL	G-PL	NG-SG	NG-PC	G-FP	G-FP	NG-FP	G-PC	G-FP	NG-PC	NG-PL	G-SG	NG-SG	G-PL	
Gr 2	Temps 2				Nombre 2				Nombre 1				Temps 1			
	NG-FP	G-PC	NG-PC	G-FP	G-PL	NG-SG	NG-SG	G-SG	NG-PL	NG-SG	G-PL	G-PC	NG-FP	G-FP	NG-PC	
Gr 3	Nombre 1				Temps 1				Nombre 2				Temps 2			
	G-PL	NG-SG	G-SG	NG-PL	NG-FP	G-PC	G-PC	NG-PC	G-FP	NG-SG	G-PL	NG-PL	G-SG	G-PC	NG-FP	NG-PC
Gr 4	Temps 2				Nombre 2				Temps 1				Nombre 1			
	NG-PC	G-FP	NG-FP	G-PC	G-SG	NG-PL	NG-PL	G-PL	NG-SG	G-FP	NG-PC	G-PC	NG-FP	NG-SG	G-PL	

Annexe D

Coefficients g de Hedges individuels aux tâches de sensibilité aux régularités statistiques

Sujet	DA-18m	DNA-18m	DNA-27m	DNAfr-27m
6	0.31	NA	-0.45	-0.18
7	NA	2.14	-0.43	0.27
8	NA	0.38	NA	NA
9	-1.23	-2.81	0.28	0.55
10	-0.66	NA	-0.94	0.48
11	NA	NA	NA	NA
12	0.65	0.41	1.36	0.19
13	NA	-0.32	0.26	NA
14	0.26	-1.02	0.07	-0.29
15	NA	-0.63	0.24	0.75
16	0.08	-0.23	0.20	0.47
17	0.00	0.21	-0.01	0.96
18	NA	-0.08	0.93	NA
19	-1.37	0.02	NA	NA
20	NA	NA	NA	NA
21	0.94	0.42	NA	NA
22	-0.59	-0.73	0.48	NA
23	-0.28	0.09	-0.55	-0.01
24	0.72	NA	1.05	0.47
25	-0.48	-0.42	NA	NA
26	-0.10	0.67	0.12	-0.54
27	-0.37	1.24	0.32	-0.09
28	0.76	0.22	-1.94	0.09
29	0.47	-0.79	1.43	NA
30	NA	NA	-0.11	0.41
31	NA	0.02	NA	NA
32	-0.56	1.14	-0.17	-0.03
33	-0.44	-0.06	0.01	0.14
34	0.36	0.04	0.37	-1.36
35	-1.17	0.70	NA	NA
36	-0.29	NA	0.42	-0.02
37	-0.19	0.20	0.52	NA
38	0.91	NA	0.80	NA
39	NA	0.31	-1.09	-0.72
40	0.43	-0.29	-0.14	0.24
41	0.05	0.36	-0.41	-0.28
42	0.55	-0.10	0.81	-0.11
43	0.35	2.15	-0.42	0.46
44	NA	NA	-0.10	0.36
45	NA	NA	-0.10	0.68

Note. NA = données manquantes ou exclues