

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](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'auteur.

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")

TABLEAU 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)

TABLEAU 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 efficace 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 P0NEP1_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>
- 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>
- 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., & Jacqueroiz, 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>