

Dominique Morsomme

Université de Liège, Département de Logopédie, RUCHE (Belgique)

Angélique Remacle

Université de Liège, Département de Logopédie, RUCHE & Université Libre de Bruxelles (Belgique)

Isabel Sarah Schiller

RWTH Aachen University, Work and Engineering Psychology, Institute of Psychology (Allemagne)

Bruit ambiant et voix dégradée : quel impact sur la perception et la compréhension de la parole chez l'enfant ?

1. PRÉAMBULE

Nous avons tous fait l'expérience d'une écoute périlleuse tant le milieu environnant était bruyant et l'orateur peu audible, voire inintelligible. Nous avons tendu l'oreille, renforcé notre concentration, changé de place, voire interrompu l'orateur pour lui demander de parler plus fort, ou encore tenté de ramener l'ambiance générale au calme... et ce, dans le but d'améliorer la qualité d'écoute. Si une partie de l'auditoire a persisté dans son attitude d'écoute, l'autre, plus dépitée, a parfois quitté la séance. Ce fait divers de la vie quotidienne interpelle et nous déplorons la pauvreté de la qualité acoustique des salles de classe, nous plaignons la santé vocale de l'orateur ou encore désapprouvons le comportement agité de l'auditoire. En tant qu'adultes, nous disposons de ressources pour accéder à l'information et en controns dans une certaine mesure les désagréments. De plus, motivés, nous osons interpellier l'orateur et notre réseau neuronal d'adultes nous permet de faire fi du bruit et/ou de la voix dégradée du locuteur. Cependant, qu'en est-il de l'enfant qui découvre la lecture, l'écriture, les mathématiques... à travers la parole de l'enseignant, le son de sa voix, le tout dans un environnement déterminé ?

La combinaison d'un environnement bruyant et d'un locuteur présentant une altération vocale est fréquente en contexte scolaire. La question de son influence sur les apprentissages des élèves est au cœur de la thèse de doctorat d'I. Schiller. Les études synthétisées ici répondent à quatre questions fondamentales. À travers une méta-analyse (MA), la première interroge la littérature sur les effets délétères du bruit et de la voix dégradée en sélectionnant les articles mentionnant

les scores de performance et les temps de réponse (TR) des enfants soumis à une tâche d'écoute (Schiller *et al.* 2022). La deuxième, d'ordre méthodologique, examine le point crucial de l'adéquation des échantillons sonores proposés dans les tâches de perception des études menées en laboratoire et sur le terrain (Schiller, Remacle & Morsomme 2020). La troisième compare les réponses des enfants aux tâches de discrimination et de compréhension à l'audition selon que la parole est soumise à une qualité vocale dégradée et/ou un environnement bruyant en laboratoire (Schiller *et al.* 2020). La quatrième teste le paradigme de la précédente dans le milieu naturel d'apprentissage de l'enfant (Schiller *et al.* 2021).

Pour saisir le cheminement des travaux synthétisés, nous rappelons les bases nécessaires à la compréhension des études précitées partageant pour la plupart des notions communes. Ainsi, nous abordons brièvement la manière dont un enfant perçoit et comprend le langage, discutons de deux outils d'évaluation du traitement du langage et examinons les perturbateurs que sont le bruit environnant et la voix altérée.

2. TRAITEMENT DU LANGAGE ORAL CHEZ L'ENFANT DE 6 ANS

2.1. Perception de la parole

Le système de traitement du langage oral (TLO) nous permet de le comprendre, notamment grâce au système auditif qui assure un rôle essentiel dans les premières étapes de son traitement. Nos oreilles captent les sons, les amplifient et les convertissent en signaux neuronaux. À partir de la cochlée, les signaux neuronaux parcourent la voie auditive *via* le nerf auditif où une première analyse a lieu qui nous permet, par exemple, de localiser une source sonore. Ensuite, les informations sont traitées dans le cortex auditif, qui interagit avec les autres zones cérébrales du langage (e.a. Hickok & Poeppel 2000). Le traitement fonctionnel du langage parlé a été expliqué au moyen de théories psycholinguistiques (Harley 2013). La perception de la parole est une des étapes du TLO et relève de notre capacité à utiliser les indices acoustiques. Les théories de la perception de la parole expliquent la capacité que les humains ont de synchroniser des informations acoustiques à des représentations linguistiques (Marslen-Wilson & Warren 1994 ; Kuhl & Meltzoff 1982, 1984, 1996). Le traitement des phrases est une étape plus complexe du TLO. Pour comprendre les phrases, les enfants font appel à leurs connaissances sémantiques, à leurs compétences syntaxiques et à d'autres aptitudes cognitives (Marcus & Rabagliati 2009). Les théories sur le traitement des phrases peuvent être divisées en théories modulaires et interactives (Forster 1979 ; MacDonald, Pearlmutter & Seidenberg 1994). Enfin, la mémoire de travail auditive contribue au TLO, les informations y étant temporairement stockées (Caplan & Waters 1990). À 6 ans, lorsque l'enfant entre à l'école primaire, son système auditif est déjà hautement fonctionnel (Werner 2007). Néanmoins, pour certaines capacités de traitement auditif central, il atteindra sa

maturation bien après l'adolescence (Litovsky 2005). L. A. Werner a distingué trois étapes dans le développement auditif central des enfants (2007 : 276-280) :

- la première concerne la maturation du codage du son qui se poursuit jusqu'à environ 6 mois après la naissance. Durant cette période, les enfants deviennent plus sensibles aux différences de fréquence et d'amplitude des sons. Pour les changements dans les hautes fréquences, leur détection se développe plus lentement ;
- la deuxième étape dure jusqu'à l'âge d'environ 8 à 10 ans. Au cours de cette période, la spécificité avec laquelle les enfants perçoivent les sons s'améliore, de même que la découverte des détails dans les sons complexes. C'est notamment à cet âge qu'ils apprennent à se concentrer de manière sélective sur les sons. Ce n'est qu'au début de leur scolarité primaire que les enfants arrivent à distinguer les sons cibles du bruit avec une précision comparable à celle des adultes ;
- la troisième étape se prolonge jusqu'à la puberté. Avec l'âge, les enfants acquièrent une plus grande flexibilité dans l'utilisation des indices acoustiques pour traiter les sons. Cette capacité devient particulièrement importante lorsque les enfants écoutent de la parole dans le bruit. Dans des environnements bruyants ou réverbérants, les adolescents de 15 ans restent néanmoins moins efficaces que les adultes dans l'utilisation des indices acoustiques.

L'acquisition de la langue parlée débute dans le ventre maternel et naturellement se poursuit à la naissance. La phonologie et les règles syntaxiques de base d'une langue sont la plupart du temps maîtrisées chez les enfants âgés de 5 à 6 ans (Hegde 2010). Notons que certaines compétences langagières orales plus complexes poursuivent leur développement au cours des premières années de la scolarité. À 6 ans, l'enfant au développement normal est capable d'identifier et de discriminer les phonèmes de sa langue maternelle (Hegde 2010). Soulignons que, dans des conditions d'écoute difficiles, ses compétences sont moins performantes que chez les enfants plus âgés ou les adultes (Leibold & Buss 2013).

2.2. Évaluation

L'évaluation du TLO chez les enfants fait appel à des méthodes comportementales. Dans notre recherche, les études se sont centrées sur des tâches d'écoute dans lesquelles la précision et le temps de réponse (TR) étaient mesurés. La précision de la réponse correspond à la manière dont l'enfant réussit la tâche et le TR à la qualité d'écoute que l'enfant déploie pour la réaliser sans effort (*listening effort*). Selon M. K. Pichora-Fuller *et al.* (2016), l'effort d'écoute se définit comme un type spécifique d'effort mental qui peut notamment survenir dans des tâches présentées en modalité auditive. Si nous entendons avec nos oreilles, nous écoutons avec notre cerveau, aussi l'effort déployé durant cette écoute dépend également de notre motivation à atteindre des objectifs et à obtenir des récompenses (Pichora-Fuller *et al.* 2016). La perception est évaluée par des tâches de discrimination de paires de mots (p. ex. *pain/bain*) et la compréhension par des tâches d'appariement entre une phrase entendue et son image correspondante.

Pour ces tâches, des mesures de performances ont été effectuées. Précisons que les TR sont mesurés uniquement sur la tâche de discrimination dans quasi toutes les études précitées excepté la deuxième.

2.3. Bruit environnant et voix altérée

Dans une certaine mesure, le bruit environnant et la voix altérée du locuteur dégradent la qualité d'écoute des auditeurs et perturbent la communication orale. Ils peuvent donc influencer la manière dont les enfants traitent le langage oral et être mesurés à travers des tâches d'écoute comme celles précédemment explicitées.

Le bruit de fond est assimilé à tout son, non pertinent, présent dans les pièces inoccupées ou occupées, y compris le bruit généré par les personnes à l'intérieur d'une pièce (p. ex. la toux et les chuchotis). Il dégrade la transmission du signal vocal (Schiller *et al.* 2021). Dans les environnements d'écoute fermés, la perturbation causée par le bruit peut dépendre du rapport signal-bruit (SNR)¹, du temps de réverbération² et de l'indice de transmission acoustique (ITS)³. L'American National Standards Institute (ANSI 2010) recommande un niveau de bruit de maximum 35 dB(A) pour une salle de classe inoccupée et un temps de réverbération n'excédant pas 0.6 seconde, voire 0.7, pour des classes de gros volume. En présence des enfants, le niveau sonore de la parole devrait dépasser celui du bruit d'environ 15 dB (Mealings 2016). Dans les faits, la revue de K. Mealings rapporte que beaucoup de salles de classe inoccupées affichent des niveaux de bruit variant entre 40 et 50 dB(A) et un SNR compris entre -10 dB et +10 dB.

En situation d'étude expérimentale, le bruit peut être induit à l'aide d'un masquage énergétique ou informationnel, tous deux influençant la production de la parole. Le masquage énergétique se produit lorsque l'audibilité d'une cible est réduite par un distracteur en raison du mélange de leurs signaux acoustiques à la périphérie (et dans la même oreille) (Mattys, Brooks & Cooke 2009). Le masquage informationnel désigne tout ce qui réduit l'intelligibilité une fois le masquage énergétique pris en compte (Cooke, Garcia Lecumberri & Barker 2008). Alors que le masquage énergétique concerne les effets périphériques du bruit

1. Le SNR (*signal-to-noise ratio*) est défini comme la puissance relative (en termes de différence de niveau) du signal par rapport au bruit (Gragido *et al.* 2013).

2. La réverbération signifie que les ondes sonores se déplacent dans l'air et rebondissent sur les murs et autres surfaces. Le temps de réverbération est la durée que met le son à décroître de 60 dB par rapport à son niveau d'origine. C'est le temps nécessaire pour que la pression acoustique s'abaisse à 1/1000^e de sa valeur de départ.

3. L'indice de transmission de la parole (ITS) est une mesure combinée de l'intelligibilité de la parole produite dans une pièce (Houtgast & Steeneken 1971 ; Steeneken & Houtgast 1980). Il a été développé avec l'idée que l'intelligibilité de la parole dépend des modulations d'amplitude, qui, à leur tour, diminuent en présence de bruit et d'une mauvaise acoustique de la pièce. L'ITS est calculé à l'aide de la fonction de transfert de modulation, qui décrit la part de variation de l'amplitude initiale qui parvient au récepteur. Les valeurs ITS sont comprises entre 0 (mauvaise transmission de la parole) et 1 (excellente transmission de la parole).

(externe à l'auditeur), le masquage informationnel s'intéresse aux effets sur le traitement cognitif (interne à l'auditeur). Le masquage informationnel a souvent été étudié dans un environnement où la parole écoutée entre en concurrence avec une parole secondaire ou parasite, comme dans le cas de bruits de cocktail (Brungart 2001 ; Hoen *et al.* 2007 ; Wightman & Kistler 2005). La contrainte du bruit ambiant sur la production vocale résulte en un phénomène nommé « effet Lombard » (Lombard 1911 ; Garnier & Henrich 2014). Il implique notamment une parole sur-articulée et une augmentation du niveau de pression sonore : le locuteur s'adapte pour être compris. C'est le cas des enseignants qui s'adaptent aux bruits environnants présents dans les salles de classe. Leur usage vocal s'intensifiant, ils sont plus à risque de développer un trouble vocal. La prévalence des troubles vocaux chez les enseignants est d'environ 20 à 50 %, voire plus dans certains cas (Martins *et al.* 2014).

Lorsque les enfants des premières années scolaires sont soumis à des tâches d'écoute avec masquage, ils y sont plus sensibles que les adultes (Leibold & Buss 2013). Cela semble être vrai pour le masquage énergétique et d'autant plus pour l'informationnel (Leibold & Buss 2013 ; Wightman & Kistler 2005). Comparés aux adultes, les enfants éprouvent plus de difficultés à sélectionner le signal cible (Wightman & Kistler 2005). Dans le bruit, leur conscience phonologique et leur compétence linguistique générale sont également moins robustes que chez l'adulte (Anthony & Francis 2005 ; Elliott 1979). Les effets du bruit sur le TLO des enfants peuvent être évalués à l'aide d'une tâche de perception de la parole dans le bruit ou à l'aide de tâches d'écoute plus générales. L'étude 1 (méta-analyse) englobe des études dont la méthode inclut du masquage énergétique et informationnel, tandis que les études 3 et 4 utilisent essentiellement du masquage énergétique.

La voix altérée représente une dégradation de la source du signal vocal. Sur le plan perceptif, elle se caractérise par de la raucité et du souffle. Sur le plan acoustique, les mesures de variation de la fréquence et du niveau de pression sonore présentent différents degrés d'irrégularité. Sur le plan physiologique, une asymétrie de vibration entre les plis vocaux est généralement observée traduisant de l'instabilité dans la source sonore. Cette asymétrie peut parfois s'accompagner de la constriction du Larynx Articulateur comme l'évoque la deuxième contribution de cette revue (Esling *et al.* 2023). Une voix altérée peut entraîner une distorsion des phonèmes pendant la production de la parole et en affecter leur perception. Les chercheurs évaluent l'effet de la voix altérée sur la base d'enregistrements de production de parole dysphonique imitée, provoquée ou encore de patients dysphoniques. Chacune de ces méthodes offre son lot de critiques. L'étude 2 explore la représentativité d'une dysphonie réelle à travers la voix imitée. C'est sur cette base que des échantillons de voix imitées ont été proposés dans les tâches d'écoute des études 3 et 4.

3. MÉTA-ANALYSE (ÉTUDE 1)

Afin de rendre compte de l'influence du bruit et/ou de la voix altérée sur le TLO chez des individus âgés entre 6 et 18 ans, une méta-analyse a été menée. Les études publiées jusqu'en novembre 2019 et répondant à nos critères de recherche ont été identifiées dans les bases de données PSYCINFO/OVID, MEDLINE/OVID, ERIC/OVID et SCOPUS. Les stratégies de recherche ont combiné du langage libre et, lorsque cela était pertinent, du langage contrôlé relatif à chaque base de données. Les opérateurs booléens ont combiné les concepts cibles de la recherche comme suit :

child AND spoken language processing AND (noise OR impaired voice)

D'autres études ont été intégrées en consultant les listes de références de toutes les études éligibles. Sur 3 225 articles, 31 se sont avérés pertinents dont 20 ont été intégrés dans la méta-analyse. Ceux-ci répondaient à la stratégie de recherche concernant les effets du bruit et/ou de la voix altérée sur la précision et le TR des enfants effectuant des tâches sous différentes conditions d'écoute ⁴. Quatre questions ont guidé la recherche :

- dans quelle mesure le bruit affecte-t-il le TLO des enfants ?
- dans quelle mesure la voix altérée d'un locuteur affecte-t-elle le TLO des enfants ?
- existe-t-il une interaction entre les effets du bruit et de la voix altérée d'un locuteur ?
- quels facteurs modèrent les effets du bruit et de la voix altérée d'un locuteur ?

Le cadre de travail SPADE (*Speech Processing under Acoustic DEgradations*) (Fig. 1) a été proposé comme cadre d'analyse à cette recherche. Il repose sur des données issues de théories psycholinguistiques (Rueschemeyer & Gaskell 2018). Il a permis de classer les résultats probants des 31 études sélectionnées. Il prend en considération trois dimensions du traitement de la parole (la perception, la compréhension à l'audition et la mémoire de travail auditive) et il identifie les potentiels modérateurs inhérents à l'auditeur, aux types de tâches proposées ou encore à l'exposition et à l'environnement dans lesquels l'auditeur effectue les tâches.

4. Crandell & Smaldino (1996) ; Howard, Munro & Plack (2010) ; Jamieson *et al.* (2004) ; McGarrigle *et al.* (2017) ; Nakeva von Mentzer *et al.* (2018) ; Nelson *et al.* (2005) ; Osman & Sullivan (2014) ; Peng & Jiang (2016) ; Picou *et al.* (2019), Prodi *et al.* (2019) ; Zhang, Tenpierik & Bluysen (2019) ; Brännström *et al.* (2018) ; Chui & Ma (2018) ; Lyberg-Åhlander *et alii* (2015) ; Morsomme, Minell & Verduyck (2011) ; Morton & Watson (2001) ; von Lochow *et al.* (2018).

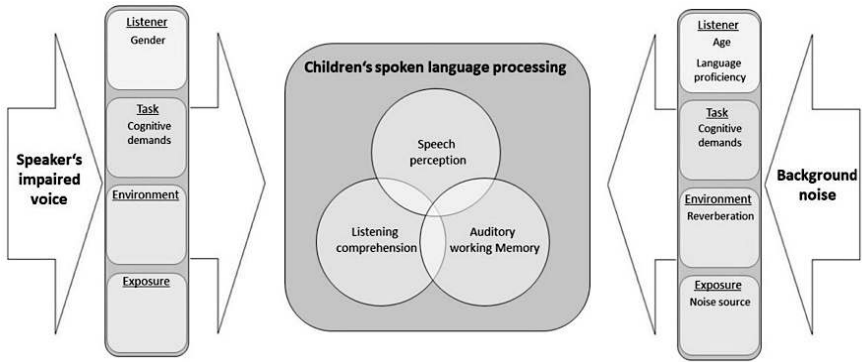


Figure 1 : Cadre de travail lié au traitement de la parole en présence de dégradation acoustique (Speech Processing under Acoustic DEgradation (SPADE) framework ; Schiller *et al.* 2022) ^a

a. La voix altérée du locuteur (flèche à l'extrême gauche) et le bruit de fond (flèche à l'extrême droite) peuvent perturber le TLO des enfants (boîte grise au centre) sur le plan de la perception de la parole, de la compréhension auditive et de la mémoire de travail auditive. Les modérateurs de ces effets sont présentés dans les deux rectangles verticaux. Ils font référence à l'auditeur, à la tâche, à l'environnement et aux expositions. D'autres facteurs existent pouvant agir comme modérateurs. Certains facteurs qui ont modéré l'effet du bruit peuvent également modérer l'effet de la voix altérée du locuteur comme l'âge des enfants.

Une analyse qualitative a été réalisée décrivant chaque étude portant sur les effets du bruit, de la voix altérée et de leurs effets combinés. Une analyse quantitative a été effectuée sur 20 études pour lesquelles une taille d'effet pouvait être déterminée. À l'aide du logiciel RSTUDIO, version 1.2.5019 (RStudio Team 2019), nous avons quantifié les effets du bruit et de la voix altérée sur la précision et le TR des enfants. Nous avons utilisé des modèles à effets aléatoires pour tenir compte de l'hétérogénéité des études (variété dans les tâches d'écoute). La taille d'effet a été calculée à partir de la différence moyenne standardisée (d de Cohen ; $IC = 95\%$; $p = .01$). L'hétérogénéité a été évaluée à l'aide de la statistique Q de Cochran et de I^2 (un I^2 de 0% indique l'absence d'hétérogénéité observée, tandis qu'un I^2 de 100% indique une hétérogénéité maximale observée (Higgins *et al.* 2003)). Nous avons effectué plusieurs méta-analyses et analyses de sous-groupes pour identifier les différences en termes d'effets du bruit et de la voix altérée, en lien avec les dimensions du cadre SPADE et en lien avec le SNR pour les études sur le bruit. Pour évaluer l'impact du bruit sur la précision des réponses des enfants, nous avons stratifié les données en cinq catégories de SNR – (i) $+6$ à $+10$ dB ; (ii) $+1$ à $+5$ dB ; (iii) 0 dB ; (iv) -1 à -5 dB ; (v) -6 à -12 dB – en tenant compte du fait que la sensibilité des enfants au bruit varie selon le niveau d'exposition. Des méta-analyses séparées ont été effectuées pour chaque catégorie. Lorsque cela était possible, nous avons effectué des analyses de sous-groupes pour vérifier si les effets variaient en fonction des dimensions du cadre SPADE. Les différences entre les groupes ont été évaluées à l'aide de tests χ^2 . Pour évaluer l'impact de la voix altérée sur la précision des réponses

dans les tâches d'écoute, nous avons effectué des méta-analyses distinctes pour la compréhension orale et la mémoire auditive. Contrairement à la façon dont nous avons procédé pour les études sur le bruit, nous avons pris en compte la variation des dimensions du cadre SPADE en effectuant des méta-analyses séparées. Aucune méta-analyse n'a été réalisée sur l'impact de l'altération de la voix sur le temps de réponse des enfants, car une seule étude pertinente était disponible (Sahlén *et al.* 2017).

À la lumière du cadre de travail SPADE, cette méta-analyse (MA) montre que le bruit joue en défaveur de la précision des réponses des enfants lors des différentes tâches d'écoute (d de Cohen compris entre -0.67 et -2.65). La voix altérée diminue plutôt le degré de précision des réponses dans les tâches de compréhension à l'audition ($d = -0.35$, CI [-0.59, -0.11]). Si certaines études ont évalué les TR, les auteurs ne sont pas unanimes quant à leurs conséquences. Par ailleurs, les conclusions des études incluses dans cette MA montrent que les facteurs liés à l'auditeur, à la tâche, à l'environnement et à l'exposition modèrent les conséquences du bruit et de la voix altérée sur la perception : le degré de gêne peut dépendre de l'âge, de la compétence linguistique et du sexe, mais aussi des exigences cognitives induites par la tâche ou du type de bruit et de l'acoustique de la pièce. Rappelons que la plupart des études ont évalué de manière isolée les effets du bruit et de la voix altérée. La conjugaison des deux reste trop peu étudiée pour conclure sur la question. Les études menées dans le cadre de la thèse d'I. Schiller (2021) visent donc à combler cette lacune. Aussi, retenons de cette MA que, lorsque les enfants écoutent une parole acoustiquement dégradée, ils éprouvent plus de difficultés à percevoir la parole, à traiter les messages verbaux au niveau syntaxique et sémantique et à se souvenir des informations verbales. En conséquence, une parole appauvrie peut entraver leurs performances scolaires. Cet état de fait peut sembler aller de soi : encore faut-il le démontrer.

4. CONCEVOIR DES TÂCHES D'ÉCOUTE ÉCOLOGIQUE (ÉTUDE 2)

Cette étude répond à une question d'ordre méthodologique. En effet, les études en laboratoire (3) et sur le terrain (4) placent les enfants en situation d'écoute. Les tâches perceptives consistent en des enregistrements de parole saine et dégradée, diffusés dans un environnement acoustiquement calme ou bruyant. La voix imitée a été choisie pour représenter la voix dégradée. Il s'agissait d'obtenir chez un même locuteur des échantillons de parole avec une qualité vocale tantôt saine, tantôt dégradée. Néanmoins, la question de la représentativité d'une dysphonie réelle à l'aide de la voix dysphonique imitée reste discutable. Une autre option était de provoquer une altération vocale chez un locuteur (Brännström *et al.* 2018 ; Lyberg-Åhlander *et al.* 2015 ; von Lochow *et al.* 2018). Celui-ci est amené à parler au-dessus d'un bruit de fond jusqu'à ce que sa qualité vocale soit temporairement altérée. Cependant, certains locuteurs sont plus

résistants que d'autres, aussi le résultat escompté n'est pas toujours au rendez-vous. Provoquer une voix altérée chez des locuteurs sains reste donc un défi (Remacle *et al.* 2014) et renvoie à des questions éthiques. Une troisième approche plus réaliste et écologique était de faire appel à des personnes dysphoniques suite, par exemple, à une laryngite aiguë (Morton & Watson 2001). Dans ce cas, la difficulté est d'obtenir chez ce même individu des échantillons de voix saine et altérée dans les temps impartis par l'étude et de s'assurer que ces deux enregistrements soient effectués dans les mêmes conditions. De plus, la voix dysphonique représentée par une voix souffrant de laryngite reste tout aussi discutable que la voix imitée. Si aucune méthode n'est pleinement satisfaisante, celle de la voix imitée a l'avantage que son locuteur est identique en voix euphonique comme dysphonique, ce qui évite les différences interlocuteurs liées à l'articulation et aux aspects prosodiques, et elle peut être obtenue dans les temps impartis par l'étude. Avant de constituer le matériel sonore à utiliser dans les études 3 et 4, nous avons donc éprouvé la pertinence du choix de la voix imitée. Pour ce faire, la locutrice a lu dans les deux modalités (voix saine *versus* altérée) la première phrase du texte (*La bise et le soleil*) et a produit la voyelle tenue [a]. Deux phrases extraites de l'épreuve de langage oral (ELO) dans le sous test C2 (Khomsi 2001) et six pseudo-mots de l'Épreuve Lilloise de Discrimination Phonologique (ELDP) (Macchi *et al.* 2012) ont été également enregistrés dans les deux modalités, puisque ces tâches (compréhension/discrimination) ont été proposées aux enfants dans les études 3 et 4. Afin de jauger de la pertinence des qualités vocales enregistrées, une analyse acoustique a été réalisée à l'aide de l'index AVQI (Maryn *et al.* 2014). De même, cinq experts ont évalué les qualités vocales à l'aide de l'échelle perceptive GRBAS (Hirano 1981). Les résultats ont montré que le matériel enregistré était éligible pour les tâches d'écoute envisagées. Pour la voix normale, il n'y avait aucun signe d'altération de la qualité vocale ($G_0R_0B_0A_0S_0$; AVQI : 2.5 ; jitter local : 0.3 % ; shimmer local : 1.4 % ; HNR : 25 dB). Quant à la voix altérée imitée, elle suggérait une altération modérée à sévère, caractérisée principalement par de la raucité et de l'asthénie ($G_3R_3B_2A_3S_2$; AVQI : 6.9 ; jitter local : 2.8 % ; shimmer local : 9.2 % ; HNR : 10.8 dB). La voix imitée altérée s'est donc révélée un bon compromis pour simuler celle de l'enseignant dysphonique. Les stimuli vocaux proposés aux enfants sont disponibles dans la base de données NODYS (Schiller, Remacle & Morsomme 2019).

5. ÉPROUVER LE CADRE DE TRAVAIL EN LABORATOIRE (ÉTUDE 3)

Cette étude vise à évaluer les scores de performance et les TR des enfants lorsqu'ils accomplissent des tâches de perception de la parole et de compréhension à l'audition. Outre l'intérêt de déterminer les effets isolés du bruit (*Speech-Shaped Noise* – SSN à 0dB SNR) et de l'altération vocale, il s'agit surtout de comprendre l'impact de ces deux facteurs combinés sur la manière dont les enfants traitent le langage oral. Dans des conditions contrôlées, 25 garçons et

28 filles de première année primaire (5 à 6;6 ans) ont effectué individuellement une tâche de discrimination phonologique (36 paires de pseudo-mots de l'ELDP (Macchi *et al.* 2012 ; p. ex. /kafifugR/ – /kafifugR/) et une tâche d'association phrase-image (21 phrases de l'épreuve ELO ; Khomsi 2001). Les enfants étaient assis face à un écran équipé d'un casque audio. Dans la première tâche, les enfants devaient indiquer si les deux pseudo-mots entendus étaient identiques, ou non, en touchant le symbole de réponse correct sur l'écran (c.-à-d. les symboles indiquant les options « même » et « différent »). La tâche était présentée sur un ordinateur portable avec un écran tactile intégré. Elle a été proposée à l'aide du logiciel OPENSESAME (Mathôt, Schreij & Theeuwes 2012). Les stimuli étaient diffusés dans un ordre aléatoire à l'aide d'un casque (AKG K 271 MK II). Les performances ont été codées comme suit : 1 = réponse correcte ; 0 = réponse incorrecte. Les TR collectés dans OPENSESAME correspondaient au temps entre la fin du stimulus présenté et le moment où la réponse tactile était enregistrée. Dans la seconde tâche, les enfants devaient faire correspondre la phrase perçue à son homologue imagé. Cette tâche d'appariement a été extraite du matériel ELO (Khomsi 2001), une version numérisée de la tâche a été créée pour cette étude. Conçue pour les enfants âgés de 5 à 10 ans, elle comprend 32 phrases (dont 21 sont recommandées pour les enfants de 6 ans). Celles-ci varient en longueur et en complexité syntaxique. Chacune était présentée oralement avec un ensemble de quatre images (une image cible et trois distracteurs morphosyntaxiques ou sémantiques). Les 21 phrases ont été diffusées à l'aide du casque audio et les images ont été présentées sur un écran d'ordinateur. Le matériel de présentation et le logiciel étaient les mêmes que pour la tâche de perception de la parole. Les enfants devaient écouter chaque phrase et sélectionner l'image correspondante sur l'écran. Les phrases étaient présentées dans un ordre aléatoire et les mesures de performance et de TR étaient collectées de la même manière que pour la tâche de perception de la parole. Les stimuli vocaux étaient présentés aléatoirement dans quatre conditions : (i) qualité vocale normale dans le calme, (ii) qualité vocale altérée dans le calme, (iii) qualité vocale normale dans le bruit SSN [0 dB SNR] et (iv) qualité vocale altérée dans le bruit SSN [0 dB SNR]. Les enfants qui ont participé aux études 3 et 4 ont des capacités d'attention sélective auditive normales voire supérieures.

Les scores de performance et les TR ont été analysés à l'aide de modèles linéaires mixtes généralisés et les résultats statistiques détaillés peuvent être consultés dans la publication originale (Schiller *et al.* 2020). Pour la tâche de discrimination phonologique, comme attendu, en présence des deux facteurs perturbants, les scores de performance des enfants ont diminué, tandis que leur TR a augmenté. Dans la condition bruit, les enfants ont allongé leur TR de ~10 % témoignant d'un effort d'écoute et d'une dépense cognitive excessive dans le traitement des tâches. Cette étude est la première à démontrer l'effet négatif d'une voix altérée sur des tâches de discrimination phonologique tant pour les scores de performance que pour les TR. Dans la condition voix altérée, la discrimination de phonèmes est moins précise, le score chute de ~9 % (p. ex.

dévoisement de certains phonèmes), et le TR augmente de ~7 %. L'intelligibilité s'avère réduite comme l'observent K. Ishikawa *et al.* (2017). La combinaison bruit-voix altérée a eu des effets plus néfastes sur les scores de performance et les TR des enfants que chaque facteur pris isolément. Lors de l'écoute d'une voix altérée dans le bruit, la précision des réponses des enfants a diminué de ~15 % et les TR ont augmenté de ~6 % en comparaison à une exposition à un seul facteur délétère. En l'absence de tout indice contextuel, les enfants devaient se fier à ce qu'ils percevaient (*auditory-perceptual mapping*) et restaurer les phonèmes manquants. Le bruit s'ajoutant à l'altération de la qualité vocale, l'intelligibilité était significativement diminuée et le recours à cette stratégie était vain.

Pour la tâche de compréhension à l'audition, contrairement aux effets observés dans la tâche de discrimination, le bruit et la qualité vocale altérée n'ont pas eu d'effets isolés sur les scores de performance ou les TR. Il est probable que la présence d'indices contextuels syntaxiques et sémantiques inhérents à cette tâche ait amélioré le degré d'intelligibilité contrairement à une tâche de discrimination phonémique réalisée avec des pseudo-mots. Par contre, une fois les facteurs délétères conjugués, les scores de performance à la compréhension à l'audition se sont effondrés de ~23 %, l'avantage des indices contextuels se réduisant lorsque les conditions d'écoute deviennent trop défavorables.

Cette expérience montre que le bruit et la voix altérée perturbent le TLO chez les enfants. Cependant, comment distinguer leurs effets respectifs ? Concernant, les effets sur le signal de la parole, une voix altérée module le signal de parole pendant sa production. Sur le plan acoustique, elle se caractérise par une augmentation des composantes du bruit ou encore des irrégularités de f_0 et d'amplitude (Schoentgen 2006). Le bruit interfère avec le signal de parole pendant sa transmission en créant un recouvrement des informations acoustiques (Cooke, Garcia Lecumberri & Barker 2008 ; Mattys, Brooks & Cooke 2009). En ce qui concerne les effets sur le TLO des enfants, la différenciation est moins nette. Comme nos résultats l'ont indiqué, les deux facteurs peuvent réduire l'intelligibilité, la voix en déformant la parole (p. ex. le dévoisement) et le bruit en la masquant, et ainsi augmenter l'effort d'écoute. Une différence importante concerne la quantification de l'exposition. Si les interférences sonores peuvent être quantifiées à l'aide du SNR, le degré de dysphonie repose, par contre, sur des évaluations qualitatives perceptives ou des analyses acoustiques. Aussi affirmer que le bruit s'avère plus perturbant que la voix altérée (Brännström *et al.* 2018) peut être remis en question, même si l'étude 3 tend à soutenir cette affirmation. Établir une telle comparaison interroge puisque le bruit et la voix altérée ne partagent pas une même métrique. Une piste pourrait être d'étudier le lien éventuel entre SNR et HNR de manière à comparer le bruit parasite à celui de la phonation (bruit causé par la dysphonie).

6. ÉPROUVER LE CADRE DE TRAVAIL DANS L'ENVIRONNEMENT SCOLAIRE

La quatrième étude reproduit quasiment la troisième. Elle évalue l'effet du bruit et de la qualité vocale du locuteur sur le TLO des enfants dans une salle de classe. Le point fort de l'expérimentation repose sur la validité écologique de la conception de l'étude. 38 filles et 39 garçons de première année primaire (5-6 ans) ont été inclus. Comme précédemment, ils sont soumis à une tâche de perception de la parole et une tâche de compréhension à l'audition dans leur salle de classe habituelle. Cette fois, ils sont exposés à un bruit constant (SNRs) qui varie entre +2 et +9 dB, comme c'est le cas dans les situations d'enseignement courantes. Ce bruit, contrairement à l'expérience réalisée en laboratoire, n'est plus d'ordre stationnaire (bruit blanc), il se compose de bruits de classe réels sans parole enregistrés lors d'un cours de mathématiques. La perception de ce bruit varie donc en fonction de la rangée de sièges qu'occupent les enfants (Fig. 2). Les stimuli vocaux en qualité normale et altérée (identiques à ceux utilisés dans l'étude 3) sont diffusés à travers de haut-parleurs répartis aux quatre coins de la classe. La voix est diffusée à l'aide d'un haut-parleur positionné au même endroit que le serait l'enseignant, soit face aux élèves. Seul est relevé le niveau de précision des réponses. La Figure 2 illustre le dispositif mis en place.

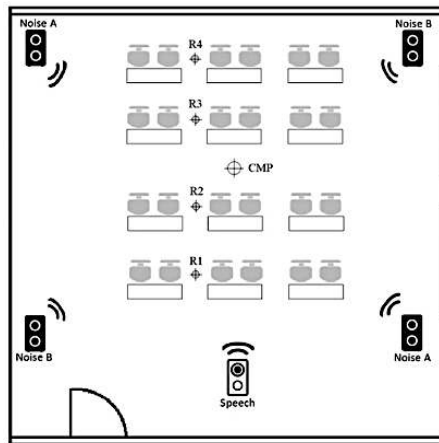


Figure 2 : Configuration expérimentale typique de chaque salle de classe ^a

a. Les bruits A et B sont identiques mais diffusés avec un décalage temporel (c.-à-d. que leurs points de départ sont différents). R = points de mesure dans chaque rangée de sièges (R1 à R4) ; CMP = position centrale de mesure.

Les scores de performance des élèves ont été analysés à l'aide d'un modèle linéaire mixte généralisé et les résultats statistiques détaillés peuvent être consultés dans la publication originale (Schiller *et al.* 2021). Les résultats corroborent ceux de l'étude en laboratoire. Lorsqu'ils effectuent la tâche de perception de la parole en modalité voix altérée, les enfants ont de moins bonnes performances ^a

(diminution de ~8 %). La présence de « bruit », comme l'indique le score HNR (11 dB en voix altérée contre 25 dB en voix normale), peut rendre la distinction des phonèmes plus difficiles, les enfants n'ayant pas la possibilité de s'aider du contexte pour pallier le déficit d'intelligibilité. D'ailleurs, une baisse de performance est observée entre la condition voix normale et voix altérée. Elle est d'environ 9 % plus faible que dans les conditions de parole dans le bruit de l'expérience en laboratoire. Par contre, les résultats n'ont montré aucun effet négatif de la voix altérée sur la compréhension orale des enfants. Notons que, contrairement à l'étude réalisée en laboratoire, les TR n'ont pas été mesurés.

Néanmoins, les enfants testés avec des niveaux SNR inférieurs ont commis plus d'erreurs que ceux testés avec des niveaux supérieurs. Dans la tâche de compréhension orale, une interaction entre la qualité vocale et le degré de difficulté de la tâche est observée. Ce degré est établi par les normes du test ELO. Il est dépendant de la longueur des phrases, de la familiarité avec les mots les composant, de leur complexité syntaxique et de la distance sémantique entre les images cibles et les distracteurs (Khomsi 2001). Surpris et intrigués par l'altération vocale, les enfants auraient augmenté leur niveau d'attention. Aussi, en condition d'écoute voix altérée, ils ont amélioré leur score de ~11 % pour les phrases « faciles » (sujet-verbe). Dans un même ordre d'idées, V. Lyberg-Åhlander *et al.* (2015) ont discuté des effets délétères de la voix altérée sur le traitement des phrases difficiles chez des enfants. Les auteurs ont évoqué que les enfants disposant de solides compétences cognitives seraient probablement moins affectés par une qualité vocale altérée que leurs pairs. Quant au niveau de bruit (SNR), il n'a pas eu d'impact significatif sur cette tâche ; néanmoins, des effets plus discrets ont pu passer inaperçus en raison de facteurs confondants.

Cette étude est la première à évaluer l'effet combiné du bruit et de la qualité vocale du locuteur sur le TLO chez des enfants de 6 ans dans leur classe. Les enfants ont éprouvé plus de difficultés à discriminer les phonèmes en présence des deux facteurs perturbants. Pour la tâche de compréhension à l'audition, aucun effet principal n'a été observé en voix altérée seule. Pour les phrases qui impliquent un traitement cognitif moins important, les performances s'améliorent en situation de voix altérée. Ce résultat s'expliquerait par l'effet de surprise que provoquerait l'écoute d'une voix altérée qui augmenterait la vigilance des enfants dans l'exécution de la tâche. L'effet du bruit dans les salles de classe est plus compliqué à démontrer en raison des niveaux de SNR limités. Toutefois, même en début de scolarité, les résultats indiquent que les enfants possèdent une certaine compétence pour restaurer une parole acoustiquement dégradée en fonction du contexte linguistique. Cela n'enlève rien au fait que le bruit présent en classe ou la voix dysphonique de l'enseignant jouent un rôle sur la compréhension à l'audition et la discrimination auditive. Les perturbations de la perception de la parole de bas niveau peuvent se répercuter sur la compréhension orale de haut niveau et rendre l'écoute plus difficile.

L'acoustique des salles de classe peut influencer les conditions d'écoute. Dans l'étude 4, le temps de réverbération, l'ITS, les niveaux de bruit des huit classes inoccupées et occupées n'ont pas affecté de manière significative la performance d'écoute des enfants. Néanmoins, les niveaux de bruit relevés dans ces classes inoccupées (37-50 dB(A)) dépassaient systématiquement les seuils maximums recommandés, soit compris entre 30 dB(A) (Mealings 2016) et 35 dB(A) (ANSI 2010). Ajoutons que les variations observées inter- et intra-classes résultaient peut-être des différents niveaux d'agitation des enfants sachant que la mesure effectuée était de courte durée (une minute). Les temps de réverbération variaient entre 0.4 et 0.8 s. La moyenne de 0.59 s. était à peine inférieure au maximum recommandé de 0.6 s. (ANSI 2010) mais dépassait toutefois le seuil de 0.4 s. proposé par K. Mealings (2016). Les valeurs de ITS variaient entre 0.69 et 0.89, la moyenne de 0.75 évoquant des conditions adéquates pour la transmission de la parole (Steeneken & Houtgast 1980). Comparées à d'autres résultats (Crandell & Smaldino 2000 ; Mealings 2016), les mesures acoustiques des salles de classe observées sont acceptables, même si des améliorations sont souhaitables.

7. DISCUSSION ET CONCLUSION

Les résultats des expérimentations précitées enrichissent la littérature existante par l'étude des effets combinés du bruit et de la voix altérée. Ainsi, en début de scolarisation, en compréhension à l'audition (et potentiellement en mémoire de travail auditive) comme en discrimination phonologique, l'altération de la qualité vocale du locuteur perturbe la perception de la parole de bas niveau. De plus, effectuer des tâches dans le bruit et/ou présentées avec une qualité vocale altérée influence la vitesse et la précision du TLO.

À la lumière du cadre SPADE tenant compte de la perception de la parole, de la compréhension à l'audition et de la mémoire de travail auditive, nous pouvons dégager ce que ces travaux impliquent.

Concernant la perception de la parole, les enfants d'âge scolaire font plus d'erreurs et nécessitent plus de temps pour traiter des tâches de perception lorsqu'ils les effectuent dans le bruit ou en présence d'un locuteur dysphonique, l'effet combiné étant particulièrement délétère. Toutefois, il est à noter que, d'un point de vue méthodologique, combiner bruit et voix altérée reste un défi, une des raisons majeures étant la nature différente de leurs impacts sur le signal vocal. Le bruit masque le signal vocal suite à la superposition des informations acoustiques (Mattys, Brooks & Cooke 2009) et la voix altérée déforme le signal vocal. L'effet de cette distorsion acoustique pourrait s'expliquer en partie par l'effet d'aimant perceptif – *Perceptual Magnet Effect* (Kuhl 1991) selon lequel, pour percevoir la parole, les auditeurs, y compris les nourrissons (Guenther & Gjaja 1996), uniformisent les différences phonémiques entre les prototypes d'un phonème donné. Les locuteurs dysphoniques éprouveraient des difficultés à

produire certains phonèmes prototypiques, en raison notamment du dévoisement (Schoentgen 2006) ou du bruit causé par le trouble vocal. Aussi, certains contrastes consonantiques devenant flous (Ishikawa *et al.* 2017), les locuteurs perdent en intelligibilité. Si, dans un environnement calme, l'enfant en situation d'apprentissage éprouve des difficultés à catégoriser les phonèmes déformés phonétiquement, en présence de bruit, ces difficultés s'aggravent comme le rapportent T. Bent et R. F. Holt (2018). Les scores de performance n'ont pas été influencés par le bruit et/ou la voix altérée, mais les temps de réponse calculés sur les réponses correctes se sont vus allongés, témoignant d'un effort d'écoute accru en conditions dégradées. D'après le modèle *Ease of Language Understanding* (Rönningberg *et al.* 2013), les conditions d'écoute dégradées ralentissent le traitement de l'information, ce qui reflèterait une recherche d'information sur les mots dans le lexique mental, les auditeurs tentant ainsi de restaurer l'information manquante en consultant la mémoire à long terme phonologique et sémantique. Cependant, dans notre cas, la tâche de perception de la parole était basée sur la discrimination de pseudo-mots. En outre, l'écoute d'une voix altérée peut déclencher des réactions émotionnelles également susceptibles d'influencer les TR. D. Morsomme, L. Minell et I. Verduyck (2011) ont montré que, la plupart du temps, les enfants connotaient négativement la voix altérée d'un locuteur. Les TR prolongés peuvent donc signaler un effort d'écoute, sachant que les processus mentaux qui les sous-tendent ne sont pas encore totalement compris.

La compréhension à l'audition implique le traitement sémantique et syntaxique de phrases et de textes parlés et nécessite une plus grande contribution de la mémoire de travail auditive. L'étude 1 (MA) a montré que le bruit ou la voix altérée entravent la compréhension orale des enfants de 6 à 18 ans. Les résultats de nos expériences en laboratoire et sur le terrain (études 3 et 4) chez des enfants de 5-6 ans ne corroborent pas entièrement les conclusions de l'étude 1. En effet, ni le bruit ni la voix altérée n'ont entravé de manière significative la compréhension à l'audition des enfants. Les indices contextuels ont sans doute pu leur donner suffisamment d'informations pour contrer l'effet néfaste des conditions acoustiques difficiles et maintenir leur niveau de performance (études 3 et 4) et même leur vitesse de traitement (étude 3). En effet, dès l'âge de 5 ans, voire même avant (Fallon, Trehub & Schneider 2002), les enfants peuvent bénéficier de ces indices lorsqu'ils écoutent de la parole dans le bruit. Néanmoins, nous avons trouvé des indications selon lesquelles, lorsque le bruit et la voix altérée sont combinés, la capacité des enfants à tirer profit des indices contextuels diminue. Les performances de l'étude 3 indiquent que les enfants avaient plus de difficultés à comprendre la parole dysphonique dans le bruit que dans le calme. En revanche, lorsqu'ils effectuaient la tâche dans le bruit avec un locuteur euphonique, la présence du bruit n'avait aucun effet significatif sur leur compréhension. Les stratégies d'écoute seraient peut-être plus efficaces pour compenser le bruit (source d'interférence omniprésente) que pour compenser la voix altérée d'un locuteur dysphonique. Dans l'expérience réalisée en classe, une interaction entre la qualité vocale du locuteur et les exigences de la tâche de

compréhension (précision des réponses) a été observée. Contrairement à notre hypothèse, les enfants ont obtenu de meilleurs résultats, lorsque la voix du locuteur était dysphonique mais uniquement sur des phrases faciles. Ce résultat peut surprendre. Néanmoins, l'attention qu'a suscité le caractère altéré de la voix a pu également amener les enfants à redoubler d'attention dans l'exécution de la tâche. V. Lyberg-Åhlander *et al.* (2015) ont démontré que, si les exigences de la tâche étaient élevées, la compréhension orale des enfants était entravée à l'écoute d'un locuteur dysphonique. Le degré de perturbation des enfants causé par une voix altérée semble dépendre de leur mémoire de travail. Selon ces auteurs, de meilleures compétences en matière de mémoire de travail pourraient réduire la sensibilité aux effets délétères d'une voix altérée, ce qui doit être testé plus avant.

Concernant la mémoire de travail auditive, cette capacité à stocker temporairement des informations présentées oralement et à les utiliser afin de comprendre le langage parlé est requise à toutes les étapes du TLO. Aussi, l'évaluer de manière isolée s'avère complexe. Dans la MA, les tâches pour l'évaluer consistaient en des rappels de mots ou de chiffres. Certains auteurs ont rapporté que le degré de précision des enfants était significativement moins bon lorsque ces tâches étaient effectuées en présence de bruit. Sur base de deux études uniquement (Brännström *et al.* 2018 ; Morton & Watson 2001), l'altération vocale ne semblait pas influencer les tâches de rappel. Le bruit détournerait donc l'attention des enfants du traitement des informations auditives pertinentes. L'attention sélective permet d'ignorer les interférences acoustiques (Magimairaj & Nagaraj 2018) et la capacité cognitive qui aide à la sélection de la source sonore pertinente pourrait, dans ce cas, ne plus être disponible pour la mémorisation des informations linguistiques, sachant que la mémoire de travail est un système à capacité limitée (Wingfield 2016). L'écoute de la parole dans des conditions acoustiques défavorables peut donc non seulement représenter un effort pour les enfants mais aussi être gênante et diminuer leur motivation à effectuer une tâche (Pichora-Fuller *et al.* 2016 ; Rönnberg *et al.* 2013).

Les enfants expérimentant quotidiennement l'exposition au bruit, ces interférences acoustiques passent généralement inaperçues. Cependant, dans les lieux où ils se trouvent fréquemment, comme le domicile ou l'école, un niveau sonore élevé ou une voix dysphonique peut affecter leur développement du langage ou leur capacité de concentration. À l'école, les conséquences sont plus préoccupantes. Les salles de classe doivent être des lieux d'enseignement favorisant un apprentissage efficace. Pourtant, elles se caractérisent par des niveaux de bruit élevés et une mauvaise acoustique (Crandell & Smaldino 2000 ; Mealings 2016). De plus, jusqu'à 80 % des enseignants développent des problèmes de voix (Martins *et al.* 2014), pour lesquels ils hésitent à s'engager dans un traitement (Van Houtte *et al.* 2011). Les travaux relatés ici suggèrent que le bruit et la voix altérée d'un locuteur réduiraient la performance des enfants en classe et augmenteraient leur effort d'écoute. Aussi, sensibiliser le public et le politique à

cette question relève d'une certaine urgence, en raison des conséquences potentielles à moyen et long terme sur la réussite scolaire et la motivation des enfants à s'investir dans leur rôle d'élève (Shield & Dockrell 2007). Les jeunes enfants, comme les participants de nos études, sont particulièrement vulnérables au bruit et à l'altération de la voix de l'enseignant. Ils maîtrisent la plupart des règles de leur langue maternelle mais leur capacité à traiter l'information reste encore faible et leur habileté à traiter la parole acoustiquement dégradée est toujours en cours de maturation (Neuman *et al.* 2010). Il faudra encore quelques années pour que leur attention sélective auditive soit pleinement développée et qu'ils puissent utiliser les indices acoustiques avec autant de souplesse que les adultes (Werner 2007).

Dans de nombreuses situations, les enfants peuvent tirer parti des informations contextuelles pour restaurer les informations manquantes, mais ce processus est long et laborieux (Rönnberg *et al.* 2013 ; Schiller *et al.* 2020). Améliorer l'acoustique des salles de classe et assurer un meilleur accès aux soins de santé vocaux pour les enseignants peuvent contribuer au confort d'écoute et faciliter les apprentissages. Entre autres, l'utilisation de nouvelles technologies comme la réalité virtuelle au service de la pratique vocale en environnement scolaire voit le jour (Remacle *et al.* 2021). Son efficacité commence à être éprouvée dans la littérature (Remacle, Bouchard & Morsomme 2023-accepté). Les parties prenantes du secteur de l'éducation devraient veiller à ce que des mesures pratiques soient proposées pour améliorer l'écoute en classe.

Références

- [ANSI] AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE, INC. (2010), [ANSI/ASA S12.60-2010/Part 1] *American National Standard. Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools, Part 1: Permanent Schools*, Melville (NY), Acoustical Society of America.
- [RSTUDIO] RStudio Team (2019), *RStudio: Integrated Development Environment for R*. Boston (MA), USA. [<http://www.rstudio.com/>]
- ANTHONY J. L. & FRANCIS D. J. (2005), "Development of phonological awareness", *Current Directions in Psychological Science* 14 (5), 255-259.
- BENT T. & HOLT R. F. (2018), "Shhh... I need quiet! Children's understanding of American, British, and Japanese-accented English speakers", *Language and Speech* 61 (4), 657-673.
- BRÄNNSTRÖM K. J. *et alii* (2018a), "The influence of voice quality on sentence processing and recall performance in school-age children with normal hearing", *Speech, Language and Hearing* 21 (1). [en ligne]
- BRÄNNSTRÖM K. J. *et alii* (2018b), "Immediate passage comprehension and encoding of information into long-term memory in children with normal hearing: The effect of voice quality and multitalker babble in noise", *American Journal of Audiology* 27 (2), 231-237.
- BRUNGART D. S. (2001), "Informational and energetic masking effects in the perception of two simultaneous talkers", *The Journal of the Acoustical Society of America* 109 (3), 1101-1109.
- CAPLAN D. & WATERS G. S. (1990), "Short-term memory and language comprehension: A critical review of the neuropsychological literature", in G. Vallar & T. Shallice (eds.),

- Neuropsychological Impairments of Short-Term Memory*, Cambridge, Cambridge University Press, 337-389.
- CHUI J.C.H. & MA E.P.M. (2018), "The impact of dysphonic voices on children's comprehension of spoken language", *Journal of Voice* 33 (5), 801.e7-801.e16.
- COOKE M., GARCIA LECUMBERRI M. L. & BARKER J. (2008), "The foreign language cocktail party problem: Energetic and informational masking effects in non-native speech perception", *The Journal of the Acoustical Society of America* 123 (1), 414-427.
- CRANDELL C. C. & SMALDINO J. J. (1996), "Speech perception in noise by children for whom English is a second language", *American Journal of Audiology* 5, 47-51.
- CRANDELL C. C. & SMALDINO J. J. (2000), "Classroom acoustics for children with normal hearing and with hearing impairment", *Language, Speech, and Hearing Services in Schools* 31 (4), 362-370.
- ELLIOTT L. L. (1979), "Performance of children aged 9 to 17 years on a test of speech intelligibility in noise using sentence material with controlled word predictability", *The Journal of the Acoustical Society of America* 66 (3), 651-653.
- ESLING J. H. *et alii* (2023), « Qualité vocale et enseignement de la phonétique comme point de convergence épistémologique », *Langages* 230. (ce volume)
- FALLON M., TREHUB S. E. & SCHNEIDER B. A. (2002), "Children's use of semantic cues in degraded listening environments", *The Journal of the Acoustical Society of America* 111 (5), 2242-2249.
- FORSTER K. (1979), "Levels of processing and the structure of the language processor", in W. E. Cooper & E.C.T. Walker (eds.), *Sentence Processing: Psycholinguistic Studies Presented to Merrill Garrett*, Hillsdale (NJ), Lawrence Erlbaum Associates, 27-85.
- GARNIER M. & HENRICH N. (2014), "Speaking in noise: How does the Lombard effect improve acoustic contrasts between speech and ambient noise?", *Computer Speech and Language* 28 (2), 580-597.
- GRAGIDO W. *et alii* (2013), "Signal-to-noise ratio", in W. Gragido *et alii* (eds.), *Blackhatonomics: An Inside Look at the Economics of Cybercrime*, Waltham (MA), Syngress/Elsevier, 45-55.
- GUENTHER F. H. & GJAJA M. N. (1996), "The perceptual magnet effect as an emergent property of neural map formation", *The Journal of the Acoustical Society of America* 100 (2), 1111-1121.
- HARLEY T. A. (2013), *The Psychology of Language: From Data to Theory*, London, Psychology Press. (Fourth Edition)
- HEGDE M. N. (ed.) (2010), *Introduction to Communicative Disorders*, Austin (TX), Pro Ed. (Fourth Edition)
- HICKOK G. & POEPEL D. (2000), "Towards a functional neuroanatomy of speech perception", *Trends in Cognitive Sciences* 4 (4), 131-138.
- HIGGINS J. P. *et alii* (2003), "Measuring inconsistency in meta-analyses", *British Medical Journal* 327 (7414), 557-560.
- HIRANO M. (1981), *Clinical Examination of Voice*, Wien, Springer-Verlag.
- HOEN M. *et alii* (2007), "Phonetic and lexical interferences in informational masking during speech-in-speech comprehension", *Speech Communication* 49 (12), 905-916.
- HOUTGAST T. & STEENEN H. J. (1971), "Evaluation of speech transmission channels by using artificial signals", *Acta Acustica United with Acustica* 25 (6), 355-367.
- HOWARD C. S., MUNRO K. J. & PLACK C. J. (2010), "Listening effort at signal-to-noise ratios that are typical of the school classroom", *International Journal of Audiology* 49 (12), 928-932.
- ISHIKAWA K. *et alii* (2017), "The effect of background noise on intelligibility of dysphonic speech", *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 60 (7), 1919-1929.

- JAMIESON D. G. *et alii* (2004), "Speech intelligibility of young school-aged children in the presence of real-life classroom noise", *Journal of the American Academy of Audiology* 15 (7), 508-517.
- KHOMSI A. (2001), *ELO : Évaluation du Langage Oral de la PSM au CM2*, Montreuil, ECPA Pearson.
- KUHL P. K. (1991), "Human adults and human infants show a 'perceptual magnet effect' for the prototypes of speech categories, monkeys do not", *Perception & Psychophysics* 50 (2), 93-107.
- KUHL P. K. & MELTZOFF A. N. (1982), "The bimodal perception of speech in infancy", *Science* 218 (4577), 1138-1141.
- KUHL P. K. & MELTZOFF A. N. (1984), "The intermodal representation of speech in infants", *Infant Behavior and Development* 7 (3), 361-381.
- KUHL P. K. & MELTZOFF A. N. (1996), "Infant vocalizations in response to speech: Vocal imitation and developmental change", *The Journal of the Acoustical Society of America* 100 (4), 2425-2438.
- LEIBOLD L. J. & BUSS E. (2013), "Children's identification of consonants in a speech-shaped noise or a two-talker masker", *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 56 (4), 1144-1155.
- LITOVSKY R. Y. (2005), "Speech intelligibility and spatial release from masking in young children", *The Journal of the Acoustical Society of America* 117 (5), 3091-3099.
- LOMBARD E. (1911), « Le signe de l'élévation de la voix », *Annales des Maladies de l'Oreille, du Larynx, du Nez et du Pharynx* 37, 101-119.
- LYBERG-ÅHLANDER V. *et alii* (2015a), "Does the speaker's voice quality influence children's performance on a language comprehension test?", *International Journal of Speech-Language Pathology* 17 (1), 63-73.
- LYBERG-ÅHLANDER V. *et alii* (2015b), "Are children with stronger cognitive capacity more or less disturbed by classroom noise and dysphonic teachers?", *International Journal of Speech-Language Pathology* 17 (6), 577-588.
- MACCHI L. *et alii* (2012), *ELDP – Épreuve Lilloise de Discrimination Phonologique destinée aux enfants de 5 ans à 11 ;6 ans*, Lille, Université de Lille.
- MACDONALD M. C., PEARLMUTTER N. J. & SEIDENBERG M. S. (1994), "Lexical nature of syntactic ambiguity resolution", *Psychological Review* 101 (4), 676-703.
- MAGIMAIRAJ B. M. & NAGARAJ N. K. (2018), "Working memory and auditory processing in school-age children", *Language, Speech, and Hearing Services in Schools* 49 (3), 409-423.
- MARCUS G. F. & RABAGLIATI H. (2009), "Language acquisition, domain specificity, and descent with modification", in J. Colombo, P. McCardle & L. Freund (eds.), *Infant Pathways to Language: Methods, Models, and Research Disorders*, Hove, Psychology Press, 213-244.
- MARSLÉN-WILSON W. & WARREN P. (1994), "Levels of perceptual representation and process in lexical access: Words, phonemes, and features", *Psychological Review* 101 (4), 653-675.
- MARTINS R.H.G. *et alii* (2014), "Voice disorders in teachers: A review", *Journal of Voice* 28 (6), 716-724.
- MARYN Y. *et alii* (2014), "The value of the Acoustic Voice Quality Index as a measure of dysphonia severity in subjects speaking different languages", *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology* 271 (6), 1609-1619.
- MATHÔT S., SCHREIJ D. & THEEUWES J. (2012), "OpenSesame: An open-source, graphical experiment builder for the social sciences", *Behavior Research Methods* 44 (2), 314-324.
- MATTYS S. L., BROOKS J. & COOKE M. (2009), "Recognizing speech under a processing load: Dissociating energetic from informational factors", *Cognitive Psychology* 59 (3), 203-243.

- MCGARRIGLE R. *et alii* (2017), "Measuring listening-related effort and fatigue in school-aged children using pupillometry", *Journal of Experimental Child Psychology* 161, 95-112.
- MEALINGS K. (2016), "Classroom acoustic conditions: Understanding what is suitable through a review of national and international standards, recommendations, and live classroom measurements", in I.D.M. Hillock & D. J. Mee (eds.), *Proceedings of Acoustics 2016 – The Second Australasian Acoustical Societies Conference* (Brisbane, Australia), Brisbane (Queensland), The Australian Acoustical Society, 1047-1056.
- MORSOMME D., MINELL L. & VERDUYCKT I. (2011), "Impact of teachers' voice quality on children's language processing skills", *VOCOLOGIE : stem en stemstoornissen*, 9-15.
- MORTON V. & WATSON D. R. (2001), "The impact of impaired vocal quality on children's ability to process spoken language", *Logopedics Phoniatrics Vocology* 26 (1), 17-25.
- NAKEVA VON MENTZER C. *et alii* (2018), "Assessing speech perception in Swedish school-aged children: Preliminary data on the Listen-Say test", *Logopedics Phoniatrics Vocology* 43 (3), 106-119.
- NELSON P. *et alii* (2005), "Classroom noise and children learning through a second language: Double jeopardy?", *Language, Speech, and Hearing Services in Schools* 36 (3), 219-229.
- NEUMAN A. C. *et alii* (2010), "Combined effects of noise and reverberation on speech recognition performance of normal-hearing children and adults", *Ear and Hearing* 31 (3), 336-344.
- OSMAN H. & SULLIVAN J. R. (2014), "Children's auditory working memory performance in degraded listening conditions", *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 57 (4), 1503-1511.
- PENG J. & JIANG P. (2016). "Chinese word identification and sentence intelligibility in primary school classrooms", *Archives of Acoustics* 41 (2), 213-219.
- PICHORA-FULLER M. K. *et alii* (2016), "Hearing impairment and cognitive energy: The Framework for Understanding Effortful Listening (FUEL)", *Ear and Hearing* 37 (1), 5S-27S.
- PICOU E. M. *et alii* (2019), "Moderate reverberation does not increase subjective fatigue, subjective listening effort, or behavioral listening effort in school-aged children", *Frontiers in Psychology* 10, #1749.
- PRODI N. *et alii* (2019a), "Noise, age and gender effects on speech intelligibility and sentence comprehension for 11- to 13-year-old children in real classrooms", *Frontiers in Psychology* 10, #2166.
- PRODI N. *et alii* (2019b), "Investigating listening effort in classrooms for 5- to 7-year-old children", *Language, Speech, and Hearing Services in Schools* 50 (2), 196-210.
- REMACLE A., BOUCHARD S. & MORSOMME D. (2023-accepté), "Can teaching simulations in a virtual classroom help trainee teachers to develop oral communication skills and self-efficacy: A randomized controlled trial", *Computers and Education*.
- REMACLE A. *et alii* (2014), "Impact of vocal load on breathiness: Perceptual evaluation", *Logopedics Phoniatrics Vocology* 39 (3), 139-146.
- REMACLE A. *et alii* (2021), "A virtual classroom can elicit teachers' speech characteristics: Evidence from acoustic measurements during in vivo and in virtuo lessons, compared to a free speech control situation", *Virtual Reality* 25 (4), 935-944.
- RÖNNBERG J. *et alii* (2013), "The Ease of Language Understanding (ELU) model: Theoretical, empirical, and clinical advances", *Frontiers in Systems Neuroscience* 7, #31.
- RUESCHEMEYER S.-A. & GASKELL M. G. (eds.) (2018), *The Oxford Handbook of Psycholinguistics*, Oxford, Oxford University Press. (Second Edition)
- SAHLÉN B. *et alii* (2017), "Is children's listening effort in background noise influenced by the speaker's voice quality?", *Logopedics Phoniatrics Vocology* 43 (2), 47-55.

- SCHILLER I. (2021), *Spoken Language Processing in Children: Effects of Noise and the Speaker's Voice Quality*, Ph.D. thesis, Université de Liège (Belgique). (non publiée)
- SCHILLER I. S., REMACLE A. & MORSOMME D. (2019), *NODYs: NOrmophonic and DYsphonic Speech samples*, Mendeley Data, V1. [en ligne]
- SCHILLER I. S., REMACLE A. & MORSOMME D. (2020), "Imitating dysphonic voice: A suitable technique to create speech stimuli for spoken language processing tasks?", *Logopedics Phoniatrics Vocology* 45 (4), 143-150.
- SCHILLER I. S. *et alii* (2020), "Noise and a speaker's impaired voice quality disrupt spoken language processing in school-aged children: Evidence from performance and response time measures", *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 63 (7), 2115-2131.
- SCHILLER I. S. *et alii* (2021), "Listening to a dysphonic speaker in noise may impede children's spoken language processing in a realistic classroom setting", *Language, Speech, and Hearing Services in Schools* 52 (1), 396-408.
- SCHILLER I. S. *et alii* (2022), "Effects of noise and a speaker's impaired voice quality on spoken language processing in school-aged children: A systematic review and meta-analysis", *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 65 (1), 169-199.
- SCHOENTGEN J. (2006), "Vocal cues of disordered voices: An overview", *Acta Acustica United with Acustica* 92 (5), 667-680.
- SHIELD B. M. & DOCKRELL J. E. (2007), "The effects of environmental and classroom noise on the academic attainments of primary school children", *Journal of the Acoustical Society of America* 123 (1), 133-144.
- STEENEKEN H.J.M. & HOUTGAST T. (1980), "A physical method for measuring speech-transmission quality", *The Journal of the Acoustical Society of America* 67 (1), 318-326.
- VAN HOUTTE E. *et alii* (2011), "The impact of voice disorders among teachers: Vocal complaints, treatment-seeking behavior, knowledge of vocal care, and voice-related absenteeism", *Journal of Voice* 25 (5), 570-575.
- VON LOCHOW H. *et alii* (2018a), "The effect of voice quality and competing speakers in a passage comprehension task: Performance in relation to cognitive functioning in children with normal hearing", *Logopedics Phoniatrics Vocology* 43 (1), 11-19.
- VON LOCHOW H. *et alii* (2018b), "The effect of voice quality and competing speakers in a passage comprehension task: Perceived effort in relation to cognitive functioning and performance in children with normal hearing", *Logopedics Phoniatrics Vocology* 43 (1), 32-41.
- WERNER L. A. (2007), "Issues in human auditory development", *Journal of Communication Disorders* 40 (4), 275-283.
- WIGHTMAN F. L. & KISTLER D. J. (2005), "Informational masking of speech in children: Effects of ipsilateral and contralateral distracters", *The Journal of the Acoustical Society of America* 118 (5), 3164-3176.
- WINGFIELD A. (2016), "Evolution of models of working memory and cognitive resources", *Ear and Hearing* 37 (1), 35S-43S.
- ZHANG D., TENPIERIK M. & BLUYSSSEN P. M. (2019), "Interaction effect of background sound type and sound pressure level on children of primary schools in the Netherlands", *Applied Acoustics* 154, 161-169.