

PERCEPTION DE LA PAROLE EN SITUATION COMPÉTITIVE D'ÉCOUTE QUAND AVOIR DES SEUILS NORMAUX A L'AUDIOMÉTRIE TONALE N'EST PAS TOUJOURS SUFFISANT

H Thai-Van, Professeur Université - Praticien Hospitalier

E. Veuillet, Thèse de Doctorat (Neurosciences), Ingénieur de recherche Université de Lyon

Parmi nos différents sens, nous connaissons tous l'importance de l'audition comme vecteur majeur de la transmission de l'information durant l'apprentissage du langage ou les acquisitions scolaires. Or « entendre » s'étend bien au-delà de la sensibilité (ou acuité) auditive telle que celle mesurée au travers de l'audiométrie tonale. En effet, bien plus que de traiter de simples signaux sinusoïdaux dans un environnement artificiellement insonorisé, les informations acoustiques captées par l'appareil auditif se caractérisent par des fluctuations spectro-temporelles plus ou moins rapides qu'il faut pouvoir extraire d'un environnement acoustique complexe et compétitif car comportant du bruit de fond signifiant ou non. Ainsi, nous avons tous un jour eu l'occasion d'expérimenter la situation difficile d'écoute que représente une salle de restaurant bondée ou la salle de classe bruyante.

Dans cet exposé, le trouble des processus auditifs (TPA) en tant que limitation durable des capacités de reconnaissance et d'interprétation du signal acoustique en l'absence d'atteinte de la sensibilité auditive est abordé. Si les difficultés pour écouter la parole dans le bruit en dépit de seuils auditifs normaux est la marque du TPA, il s'agit d'une atteinte hétérogène avec des problèmes à différents niveaux du système auditif à la fois au niveau des voies afférentes (bottom-up) et dans le traitement de haut niveau qui régule les entrées sensorielles via les connexions efférentes (top-down). Il peut alors s'exprimer sous la forme de limitations des performances pour écouter dans le bruit mais aussi pour séparer ou intégrer de l'information auditive qui arrive simultanément sur les deux oreilles, identifier des signaux de parole ou des pattern auditifs... Nous montrerons que les déficits provoqués par certaines défaillances de ces processus auditifs centraux peuvent

entraîner un trouble des apprentissages et gêner de manière considérable la scolarité.

Le cas qui va être décrit est loin d'être rare même si malheureusement on en parle peu. C'est celui de cette maman inquiète venant consulter parce que son enfant se plaint de ne pas pouvoir suivre les consignes orales données en classe par ses enseignants alors qu'il fait des efforts pour se concentrer. Les résultats scolaires n'étant pas satisfaisants, cette maman se demande si cette gêne à l'écoute ne serait pas à l'origine des difficultés scolaires. Comme depuis les années 1970, le « gold standard » pour vérifier que l'audition est normale est l'audiogramme tonal, test non écologique qui, rappelons-le, consiste à faire écouter des sons purs dans une cabine insonorisée, c'est ce test qui va être réalisé en toute première intention. Or il se révèle strictement normal (PTA < 20dB entre 250 et 8000 Hz) comme dans la majorité des cas. Aux États-Unis, près de 5% des enfants avec des audiogrammes cliniquement normaux et sans pathologie auditive évidente ont des difficultés d'écoute dans le bruit (Hind et al., 2011). En outre, des problèmes d'écoute sont rapportés chez 20% des enfants consultant dans un service d'audiologie (Moore & Hunter, 2013). Rassurer cette maman en lui disant que son enfant est bien-entendant est justifié mais a-t-on réellement bien mesuré ses capacités d'écoute, surtout celles dont il a besoin en classe pour être un auditeur performant ?

L'encodage et le traitement perceptif de la riche diversité des signaux sonores présents dans notre environnement, i.e. les processus auditifs reposent sur un système auditif élaboré et spécialisé. L'information sonore présente dans notre environnement est transformée dans l'oreille interne en message électrique

par les cellules ciliées internes (CCI) de la cochlée. La perception que nous en avons repose sur les différents traitements qui ont lieu entre cette périphérie auditive et les structures auditives corticales (Hudspeth, 1997). Anatomiquement, il a été montré qu'en parallèle au **système auditif ascendant** constitué par les voies afférentes (Figure 1), il existe un **système auditif descendant**, appelé voie efférente ou corticofuge.

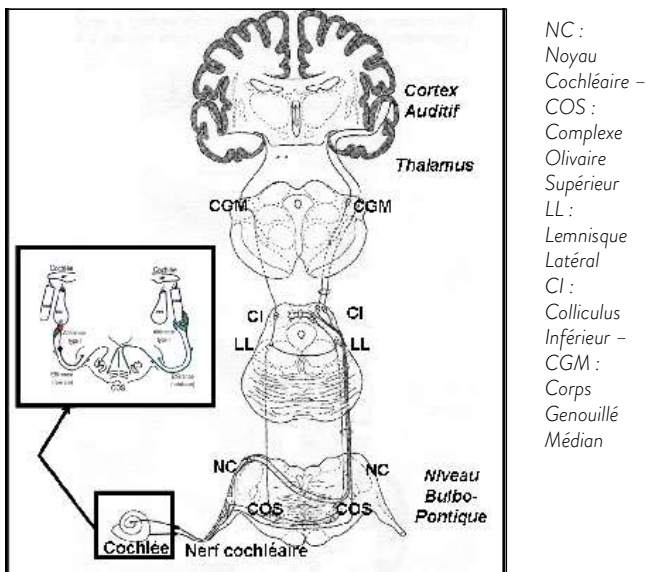


Figure 1 : Voie auditive ascendante avec les efférences olivocochléaires

Concernant la voie afférente (Lee, 2013), des fibres innervant les CCI se projettent dans le tronc cérébral au niveau des noyaux cochléaires puis des noyaux du Complexe Olivaire Supérieur (COS), distribuant les flux entrants le long de voies parallèles qui vont finalement converger au niveau du colliculus inférieur. Les fibres se projettent dans le thalamus auditif au niveau des noyaux du corps genouillé médian puis atteignent le cortex auditif situé au niveau du lobe temporal. Ces deux structures auditives de plus haut niveau établissent les circuits nécessaires pour l'extraction et le décodage ultérieur de l'information acoustique afférente. Le cortex auditif se compose d'une part de l'aire primaire BA41 située dans le Gyrus de Heschl où se trouvent des neurones répondant aux sons purs ; il s'agit ici d'une réception simple des informations acoustiques sans interprétation. Il y a d'autre part les aires secondaires et tertiaires (ou associatives) situées dans le gyrus temporal supérieur, les aires secondaires présentant une spécialisation fonctionnelle hémisphérique avec

à droite la perception et la reconnaissance des sons musicaux et à gauche celles des sons du langage. Certaines études conduites chez l'homme en Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle (IRMf) montrent une activation généralisée pouvant se localiser au niveau du cortex préfrontal inférieur et des aires temporo-pariétales postérieures qui seraient impliquées dans la prise de décision et d'autres aspects de la réponse aux sons. Toutes ces aires plutôt « non auditives » ont des connexions réciproques avec les aires auditives formant les origines des voies auditives efférentes ou descendantes. À partir du cortex auditif primaire, ces fibres efférentes se projettent au niveau de tous les noyaux du système auditif ascendant décrit précédemment (Suga et al. 2000 ; Winer, 2006). Il est de plus en plus évident que ces voies auditives afférentes et efférentes présentent un fonctionnement intégré et que fonctionnellement, la relation entre les processus perceptifs et neurophysiologiques puisse être envisagée dans le cadre d'un réglage corticofuge (dit « top-down ») des structures auditives périphériques (Zhang et Suga, 2000 ; 2005). Dans ces conditions, les réponses du tronc cérébral en particulier celles à la parole qui sont déterminées par l'acoustique du signal entrant, devraient pouvoir bénéficier d'amélioration corticofuge (Gao et Suga, 2000) via ces fibres efférentes. Ce contrôle efférent peut s'exercer bien au-delà du tronc cérébral car certaines fibres efférentes qui trouvent leur origine dans le COS se projettent sur des structures situées dans l'oreille interne (Encart Figure 1). Parmi elles, certaines, myélinisées et originaires du COS se projettent directement de manière ipsi- et controlatérale sur les CC Externes (CCE) de l'organe de Corti. Il s'agit respectivement des fibres non croisées (ou directes) et croisées du SEOC Médian (SEOCM)¹ qui ont fait l'objet de très nombreuses études tant chez l'animal que chez l'homme (voir Guinan, 2010 ; Wersinger et Fuchs, 2011 pour revues).

Les processus auditifs permettent non seulement de traiter instantanément des signaux, qu'ils soient simples ou complexes, pour saisir le message auditif d'intérêt mais aussi d'interpréter des signaux entrants même s'ils sont incomplets ou interrompus. Or attardons-nous un instant sur les conditions d'écoute dans une salle de classe qui peuvent être un énorme

1 - Système Efférent Olivo-Cochléaire Médian

challenge pour certains enfants car les rapports signal sur bruit sont parfois très défavorables (bruits parasites extérieurs), les locuteurs sont parfois multiples et distrayants (bavardages). De plus, il faut parfois suivre des instructions orales souvent nouvelles et complexes. L'enfant doit ainsi avoir une bonne intelligibilité de la parole même si les conditions d'écoute ne sont pas optimales et cela repose sur des processus auditifs efficaces.

Selon **Katz** (trad.) : « le processus auditif n'est pas ce que nous entendons mais ce que nous faisons avec ce que nous entendons ». Selon Musiek (trad.) : « le processus auditif est comment l'oreille parle au cerveau et comment le cerveau comprend ce que l'oreille lui dit ». Un déficit des processus auditifs peut générer un traitement auditif ralenti ou retardé ou des signaux acoustiques « brouillés » ou « micro-coupés ». Ainsi chez ces enfants qui sont vus en consultation pour des difficultés d'écoute et qui sont normoentendants, 20-40% d'entre eux présentent des processus auditifs altérés, i.e. qui ont un « **A**uditory **P**rocessing **D**isorder (**APD**) », ce que l'on peut traduire par le terme **T**rouble du **T**raitement **A**uditif (**TTA**) ou **T**rouble des **P**rocessus **A**uditifs (**TPA**).

Selon TJ Bellis : « **APD** is when the brain can't ear ». Les hypothèses actuelles concernant ce déficit font état de problèmes soit au niveau du traitement sensoriel impliquant la voie ascendante avec les processus auditifs de type « bottom-up ». Il peut aussi s'agir d'anomalies affectant les processus « top-down » de la fonction cognitive, dérivant des centres de traitement multimodaux dans les lobes frontaux, pariétaux et temporo-antérieurs du cerveau. Ces deux hypothèses sont non mutuellement exclusives puisque comme nous l'avons déjà souligné précédemment les mécanismes bottom-up sont au cœur de la perception auditive et les influences top-down ont un rôle de modulateur.

La marque distinctive du TPA est une difficulté pour comprendre la parole en milieu bruité, réverbérant ou en présence d'évènements distrayants tels que les situations dites **compétitives** (Veillet et al., 2010) où **l'écoute** doit être « active » avec un SNC capable de « combler les trous présents dans le message ».

D'un point de vue comportemental, on peut suspecter ce TPA face à un enfant qui :

- Se plaint de mal entendre quand il y a du bruit
- N'arrive pas à localiser les sources sonores
- A des difficultés pour apprendre une langue étrangère
- Fait souvent répéter
- Se plaint qu'on lui parle trop vite
- A du mal à comprendre les propos ironiques ou sarcastiques (prosodie)
- Donne des réponses inappropriées
- Est facilement distrait par des stimuli extérieurs
- A du mal à maintenir son attention
- A de faibles compétences musicales
- A des problèmes en lecture, orthographe (Difficultés scolaires... Troubles des apprentissages)

Du fait que les processus auditifs mettent en jeu des processus neurocognitifs tels que la mémoire ou l'attention, des TPA coexistent souvent avec d'autres déficits comme les retards de langage oral ou écrit (c'est le cas d'un enfant sur 2 avec un TPA), les troubles des apprentissages et les déficits attentionnels. On sait également que 40% des enfants dyslexiques ont un TPA associé (Veillet et al., 2011) et, comme nous l'avons vu, écouter en situation bruitée peut être l'un des signes les plus fréquents. D'ailleurs, nous avons demandé à 2 groupes de 23 enfants, normo lecteurs ou dyslexiques, de répéter des mots présentés d'abord dans le silence puis à différents niveaux de bruit blanc continu allant par pas de 5 dB des Rapports Signal sur Bruit (RSB) le plus favorable égal à - 5dB au plus défavorable égal à - 35dB (Figure 2 ci-dessous).

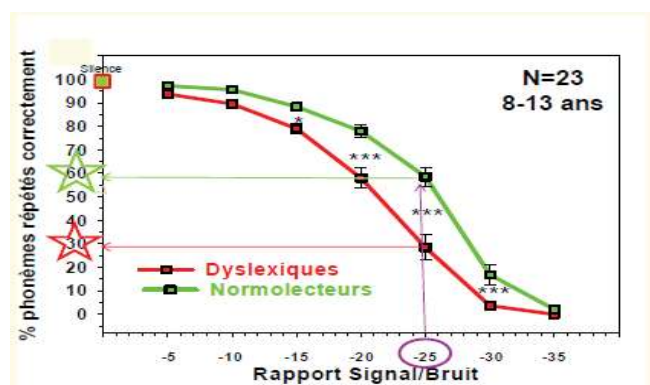


Figure 2 : Comparaison de l'intelligibilité en présence de bruit entre des enfants normolecteurs et dyslexiques

Alors que dans le silence ainsi qu'aux 2 premiers RSB, le nombre de phonèmes répétés correctement n'est pas significativement différent entre les deux groupes, les dyslexiques sont significativement plus en difficultés que les enfants normo lecteurs dès que le RSB devient inférieur à - 15dB. Ainsi au RSB de - 25dB, alors que les normo lecteurs répètent encore correctement 60% des phonèmes, les dyslexiques présentent des scores deux fois plus faibles. Un TPA peut également être trouvé chez des enfants présentant un déficit de l'attention. Toutes ces comorbidités font que le diagnostic ne peut être établi qu'au sein d'une **équipe pluridisciplinaire composée d'audiologiste, orthophoniste, neuropsychologue et pédopsychiatre.**

Si un enfant avec un TPA peut avoir de faibles performances d'écoute de la parole en présence de bruit, ce n'est pas le seul trouble possible. En effet, les troubles des processus auditifs se caractérisent par la présence d'au moins un déficit impliquant le processus responsable des aptitudes suivantes : la localisation et la latéralisation des sons ; la discrimination auditive ; la reconnaissance de configurations (pattern) auditives ; les aptitudes impliquées dans les mécanismes permettant de traiter les aspects temporels de l'audition comme par exemple le masquage, l'intégration et le décodage temporel ; les performances auditives en présence de signaux compétitifs ou de signaux altérés (ASHA-1996 – 2005).

Quatre dimensions méritent d'être explorées cliniquement :

- L'écoute dichotique qui repose sur les capacités d'intégration et de séparation binaurale.
- L'interaction binaurale qui est basée sur les capacités de combinaison d'entrées complémentaires entre les 2 oreilles
- Le décodage phonétique qui repose sur le traitement de la parole à faible redondance (closure auditive)
- Le traitement temporel qui est critique pour une large variété de tâches d'écoute quotidienne.

Pour cela, nous disposons d'une batterie francophone appelée Bilan Auditif Central (BAC) élaborée par Demanez et al., 2003. Elle permet, dans un temps raisonnable (2 sessions de 30 mn) de mesurer, chez l'enfant et l'adulte, les principales compétences

auditives centrales décrites précédemment et des valeurs normatives permettent de savoir comment se situe le sujet en fonction de son âge. Quatre tests comportementaux sont principalement administrés : Lafon 60², test de configuration en fréquence et durée, test dichotique et test de démasquage binaural. De plus, une caractérisation fonctionnelle objective et non invasive des processus auditifs descendants est possible. En effet, comme nous l'avons mentionné précédemment, les CCE sont la cible directe de fibres en provenance du COS. Or ces cellules sensorielles sont le siège de mécanismes contractiles actifs qui sont associés à la genèse de sons, appelés Otoémissions Acoustiques (OEA) que l'on peut recueillir au moyen d'une sonde miniaturisée placée à l'entrée du conduit auditif externe (Kemp, 2002). Les OEA obtenues en réponse à un son correspondent aux OEA Provoquées (OEAP). La comparaison de l'amplitude des OEAP obtenue sans et avec une stimulation sonore appliquée sur l'oreille controlatérale permet une exploration quantitative des fibres directes (ou non croisées) du SOCM (Collet et al., 1990 ; Veuillet et al., 2001). Ces fibres étant inhibitrices, l'ajout d'un bruit controlatéral provoque une diminution de l'amplitude des OEAP (Figure 3 ci-dessous).

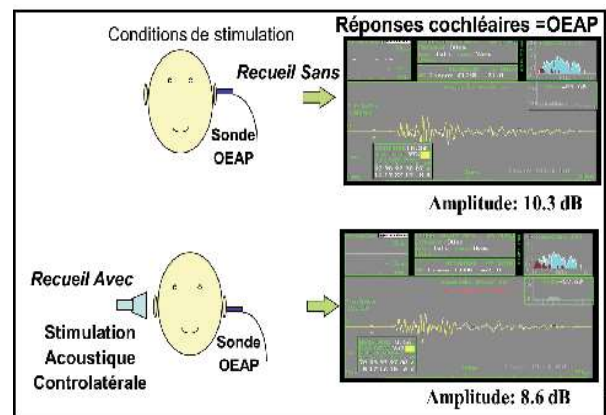


Figure 3: Exploration des fibres du SOCM non croisées (ou directes): Effet de suppression controlatérale des OEAP

Il s'agit de l'effet de suppression controlatérale des OEAP. Cette exploration présente un intérêt clinique dans le cadre d'une recherche d'un TPA (Veuillet et al., 2011) puisque l'un des rôles possibles de ces fibres est d'améliorer l'intelligibilité de la parole en présence de bruit en se comportant comme un « filtre auditif » périphérique. Ce filtre fonctionnerait sous contrôle central comme en témoigne d'une part l'existence

2 - Test issu des tests dits d'intégration, avec la répétition de 2x30 mots émis avec et sans bruit de fond, étalonné par tranche d'âge.

d'une latéralisation fonctionnelle asymétrique qui est différente entre les droitiers et les gauchers (Khalifa & Collet, 1996 ; Khalifa et al 1998) et d'autre part le fait que le fonctionnement de ces fibres est modifié en présence de lésions corticales (Khalifa et al. 2001). Nous avons mesuré l'effet de suppression contralatérale des OEAP sur l'oreille droite et gauche de 80 enfants droitiers manuellement et dont les seuils auditifs à l'audiométrie tonale normaux et des réponses cochléaires parfaitement présentes. La moitié d'entre eux ne présentaient pas de difficultés scolaires alors que l'autre moitié présentait un Trouble des Apprentissages (TA) lié à des difficultés d'acquisition de la lecture (dyslexie). Les résultats montrent (Figure 4) qu'en moyenne, l'inhibition est présente bilatéralement dans les deux groupes.

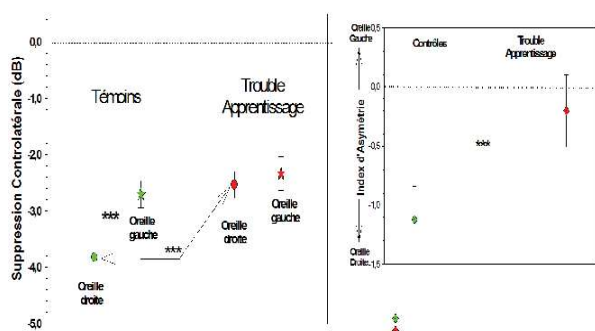
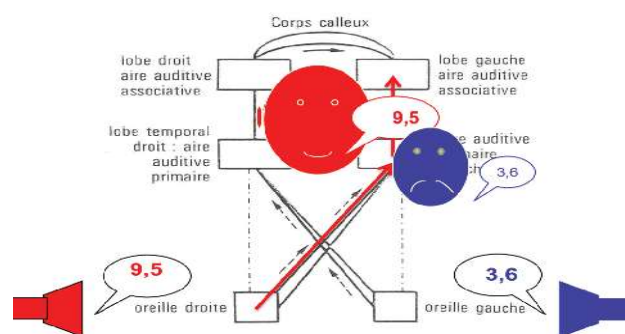


Figure 4: Comparaison du fonctionnement des fibres du SOCM entre 2 groupes de 40 enfants sans et avec trouble des apprentissages

Mais des différences significatives sont observées entre les groupes. Alors que les enfants droitiers sans problèmes scolaires et normo lecteurs présentent en moyenne des effets suppressifs plus intenses sur l'oreille droite que sur l'oreille gauche, ce n'est pas le cas du groupe d'enfants en difficultés scolaires chez qui une absence d'asymétrie interaurale est constatée. Elle s'explique par une moindre suppression contralatérale moyenne des OEAP sur l'oreille droite des enfants avec TPA. Sachant que cet effet suppressif peut s'améliorer sous l'effet d'un entraînement auditif (Veillet et al. 2007 ; de Boer & Thornton, 2008), les résultats de cette exploration offrent des options supplémentaires de réhabilitation pour la prise en charge d'un TPA. Nous avons mis en parallèle ces résultats objectifs avec les performances au test dichotique du BAC. En effet, comme nous l'avons déjà souligné, en classe un enfant

peut être quotidiennement soumis à une situation compétitive d'écoute de type dichotique. Ainsi, il est parfois contraint de devoir écouter l'enseignant alors qu'un camarade lui parle ou que deux enfants proches de lui sont en train de bavarder. C'est le cas typique d'une situation dichotique d'écoute. Dans une procédure dichotique (Broadbent, 1954), on fait entendre à un sujet une information verbale différente dans chaque oreille et on lui demande soit de répéter soit tout ce qu'il a entendu, soit uniquement ce qu'il a entendu sur l'oreille droite ou sur l'oreille gauche. Ce principe a été introduit en clinique par Kimura en 1976. Une condition dite « d'oreille non désignée ou rappel libre », permet de mesurer les capacités d'intégration binaurale. Dans l'autre condition dite « d'oreille désignée », le sujet doit parvenir à faire de la séparation binaurale. Comme chaque oreille se projettent sur les deux hémisphères via des voies ipsi- et contralatérales avec une prédominance de la voie contralatérale, le test d'écoute dichotique repose sur le principe d'inhibition de la voie ipsilatérale accessoire. Prenons pour exemple le cas où les chiffres 9 5 sont présentés sur l'oreille droite et les chiffres 3 6 en même temps sur l'oreille gauche (Figure 5).



L'information entendue sur l'oreille droite va atteindre en priorité l'hémisphère gauche, alors que celle entendue à droite arrivera principalement dans l'hémisphère droit. Comme il est demandé au sujet de répéter les chiffres, cette verbalisation qui repose sur les aires du langage dont la localisation est à gauche, va être plus rapide pour l'information présentée sur l'oreille droite. D'où une prévalence droite. En effet, pour celle présentée à gauche, il doit y avoir un transfert inter hémisphérique via les fibres du corps calleux. Ainsi chez les sujets présentant une agénésie

du corps calleux, ce test prend toute sa valeur car cela se traduit par une extinction gauche, c'est-à-dire une impossibilité pour le patient de répéter l'information verbale qui est présentée dans l'oreille gauche quand simultanément un message est également présent dans l'oreille droite. Les capacités mises en jeu lors de cette procédure d'écoute sont nombreuses et on peut en particulier mesurer:

- les Aptitudes Dichotiques (AD) qui correspondent au nombre de fois où le sujet répète correctement ce qu'il a entendu sur les deux oreilles. Si elles sont fortes, cela est en faveur de bonnes capacités d'intégration binaurale en condition dite d'attention auditive divisée

- la Prévalence d'Oreille (PO) qui permet de quantifier l'oreille privilégiée pour l'écoute

- L'Indice de Déplacement (ou shift) Attentionnel (IDA). Plus il est élevé et plus l'enfant présente de bonnes capacités de séparation binaurale en condition d'attention dirigée. Le calcul de l'IDA (Asbjornsen et Bryden, 1998) repose sur un rapport prenant en compte différents types de réponses produites avec

- le nombre de réponses correctes qui dépend des capacités d'écoute sur l'oreille désignée et des capacités d'inhibition de l'écoute sur l'oreille non désignée et

- le nombre de réponses intrusives qui dépend du déficit d'écoute sur l'oreille désignée et du déficit d'inhibition sur l'oreille non désignée.

Nous avons mesuré ces paramètres chez les 40 enfants des deux groupes décrits précédemment (Thai-Van & Veuillet, 2013). Les AD des enfants dyslexiques sont en moyenne significativement plus faibles que les AD des enfants normo lecteurs alors qu'en moyenne les prévalences d'oreille qui sont pour les deux groupes en faveur de l'oreille droite ne diffèrent pas significativement (Figure 6).

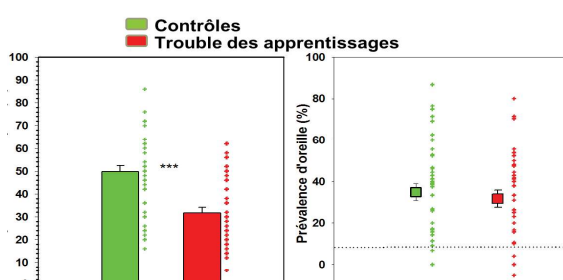


Figure 6: Comparaison des compétences dichotiques entre 2 groupes de 40 enfants sans et avec trouble des apprentissages

Les IDA moyennes sont significativement plus faibles pour le groupe des enfants TA (Figure 7) et cela s'explique à la fois par des réponses correctes significativement moins nombreuses et des réponses intrusives significativement plus nombreuses comparées au groupe sans TA.

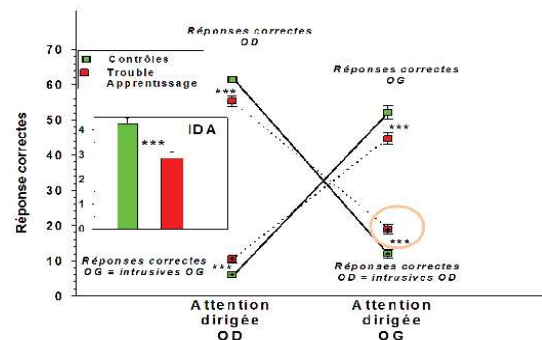


Figure 7: Comparaison de l'indice de déplacement attentionnel entre deux groupes de 40 enfants sans et avec trouble des apprentissages

Mais nous observons aussi que si les réponses intrusives droites sont beaucoup plus nombreuses quel que soit le groupe, les enfants avec TA commettent un nombre beaucoup plus élevé de réponses intrusives sur l'oreille droite comme si pour eux, il était beaucoup plus difficile d'inhiber l'écoute sur cette oreille. Or rappelons-nous qu'en moyenne l'effet de suppression contralatérale des OEAP est significativement plus faible sur l'oreille droite de ces enfants.

En conclusion, nous constatons qu'un trouble de la perception auditive peut exister en l'absence de perte auditive et il faut toujours se rappeler qu'entendre ne veut pas dire écouter. Il est également important de retenir que nous disposons de processus auditifs jouant un rôle critique et crucial dans la médiation de capacités robustes de reconnaissance de la parole surtout en condition compétitive d'écoute. Toutefois il est bien difficile de pouvoir considérer séparément les influences sensorielles et cognitives et si l'on dispose actuellement d'outils (dits tests d'audition centrale) pour rechercher un TPA, le diagnostic chez l'enfant ne peut s'établir qu'en équipe pluridisciplinaire. Enfin, on peut rajouter qu'il ne suffit pas d'établir un diagnostic mais il faut aussi pouvoir proposer et mettre en place de remédiations qui ne seront efficaces que si elles sont ciblées sur le déficit.

REFERENCES

- American Speech-Language-Hearing Association Taskforce on Central Auditory Processing Consensus Development (1996). *Central auditory processing: Current status of research and implications for clinical practice*. Am J Audiol 5: 41-54.
- American Speech-Language-Hearing Association Working Group on Auditory Processing Disorders (2005). *(Central) auditory processing* [electronic version of technical report]. Available from <http://www.asha.org/policy>.
- Asbjornsen AE, Bryden MP (1998). *Auditory attentional shifts in reading-disabled students: quantification of attentional effectiveness by the attentional shift index*. Neuropsychologia 36: 143-148.
- Broadbent DE (1954). *The role of auditory localization in attention and memory span*. J Exp Psychol 47: 191-196.
- Collet L, Kemp DT, Veuillet E, Duclaux R, Moulin A, Morgon A (1990). *Effect of contralateral auditory stimuli on active cochlear micro-mechanical properties in humans subjects*. Hear Res 43: 251-262.
- de Boer J, Thornton AR (2008). *Neural correlates of perceptual learning in the auditory brainstem: efferent activity predicts and reflects improvement at a speech-in-noise discrimination task*. J Neurosci 28: 4929-4937.
- Demanez L, Dony-Closon B, Lhonneux-Ledoux F, Demanez JP (2003). *Central auditory processing assessment: a French speaking battery*. Acta Oto-Rhino-Laryngol Belg, 57: 275-290.
- Gao E, Suga N (2000). *Experience-dependent plasticity in the auditory cortex and the inferior colliculus of bats: Role of the corticofugal system*. Proc Natl Acad Sci USA 97:8081-8086.
- Guinan JJ (2010). *Cochlear efferent innervation and function*. Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg 18: 447-453.
- Hind SE, Haines-Bazrafshan R, Benton CL, Brassington W, Towle B & Moore DR (2011). *Prevalence of clinical referrals having hearing thresholds within normal limits*. Int J Audiol 50: 708-716.
- Hudspeth A (1997). *How hearing happens*. Neuron 19: 947-950.
- Kemp DT (2002). *Otoacoustic emissions, their origin in cochlear function, and use*. Brit Med Bull 63: 223-241.
- Khalfa S, Bougeard R, Morand N, Veuillet E, Isnard J, Guenot M, Rylyn P, Fischer C, Collet L (2001). *Evidence of peripheral auditory activity modulation by the auditory cortex in humans*. Neurosci 104: 347-358.
- Khalfa S, Collet L (1996). *Functional asymmetry of medial olivocochlear system in humans. Towards a peripheral auditory lateralization*. Neuroreport 7: 993-996.
- Khalfa S, Veuillet E, Collet L (1998). *Influence of handedness on peripheral auditory asymmetry*. Eur J Neurosci 10: 2731-2737.
- Kimura, D. (1967). *Functional asymmetry of the brain in dichotic listening*. Cortex 3: 163-168.
- Lee CC (2013). *Thalamic and cortical pathways supporting auditory processing*. Brain & Lang 126: 22-28.
- Moore DR, Hunter LL (2013). *Auditory processing disorder (APD) in children: a marker of neurodevelopmental syndrome*. Hear, Balance & Com, 11: 160-167.
- Suga N, Gao E, Zhang Y, Ma X, Olsen JF (2000). *The corticofugal system for hearing: Recent progress*. PNAS 97: 11807-11814.
- Thai-Van H, Veuillet E (2013). *Evaluation de l'écoute dichotique chez l'enfant dyslexique*. Can Acoust 41: 13-20.
- Veuillet E, Thai-Van H (2010). *Trouble du traitement auditif chez les enfants présentant un trouble spécifique du langage*. Les Cahiers de l'Audition 24 : 7-18

- Veuillet E, Bouilhol C, Thai-Van H (2011) *Co-Morbidity of APD and Reading Disabilities*. Curr Ped Rev 7: 227-240.
- Veuillet E, Collet L, Duclaux R (1991). *Effect of contralateral acoustic stimulation on active cochlear micromechanical properties in human subjects: dependence on stimulus variables*. J Neurophysiol 65: 724-735.
- Veuillet E, Magnan A, Ecalle J, Thai-Van H, Collet L (2007.) *Auditory processing disorder in children with reading disabilities: effect of an audiovisual training*. Brain 130: 2915-2928.
- Veuillet E, Mazucca M, Collet L, Thai-Van H (2011.) *Explorations des voies auditives descendantes : Applications dans les troubles des apprentissages*. Monographies Amplifon, 51 : 29-39.
- Wersinger E, Fuchs PA (2011.) *Modulation of hair cell efferents*. Hear Res 279: 1-12.
- Winer JA (2006). *Decoding the auditory corticofugal systems*. Hear Res, 212: 1-8.
- Zhang YF, Suga N (2000). *Modulation of responses and frequency-tuning of thalamic and collicular neurons by cortical activation in mustached bats*. J Neurophysiol 84:325-333.
- Zhang YF, Suga N (2005). *Corticofugal feedback for collicular plasticity evoked by electric stimulation of the inferior colliculus*. J Neurophysiol 94:2676-2682.

Affiliations des auteurs :

- Université de Lyon, Université de Lyon¹
- Centre de recherche en Neurosciences de Lyon (CRNL), INSERM U1028, CNRS UMR5292, Equipe Waking.
- Hospices Civils de Lyon, Service d'Audiologie et d'Explorations Otoneurologiques, Service Dys-Audiologie, Hôpital Femme-Mère-Enfant.

Adresse : Hôpital Edouard Herriot, Pavillon U, Place d'Arsonval 69437 Lyon Cedex03

REMERCIEMENTS

Equipe « Dys-Audiologie »

Chef de service: Pr Hung Thai-Van

<ul style="list-style-type: none"> ■ Médecins <ul style="list-style-type: none"> ■ N Girardon (Médecin scolaire) ■ C Seiller (Phoniatre) ■ I Soares-Boucaud (Pédopsychiatre) ■ Tests auditifs <ul style="list-style-type: none"> ■ P Melki (Audiométriste) ■ M Moktari (Psychologue) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Neuropsychologues <ul style="list-style-type: none"> ■ I Comte-Cervais ■ M Gavanon ■ R Yssaad-Feysseilier ■ Orthophonistes <ul style="list-style-type: none"> ■ H Levy ■ S Jéry ■ Enseignants spécialisés EN <ul style="list-style-type: none"> ■ P Audisen ■ P Estrade ■ M Penel
---	---