



Le réseau national d'expertise
en troubles envahissants
du développement

TRAITEMENT AUDITIF DANS
L'AUTISME :
OÙ EN SOMMES-NOUS ?

Fabienne Samson

Stagiaire postdoctorale

Université Queens, Kingston, Ontario

&

Centre d'Excellence en Troubles Envahissants du

Développement de l'Université de Montréal

RÉSUMÉ

De nombreuses recherches ont été menées à ce jour pour tenter de comprendre les mécanismes sous-tendant les particularités sensorielles retrouvées chez les autistes. Au niveau auditif, les autistes montrent à la fois des réactions d'évitement face à certains sons, des capacités supérieures dans le domaine de la musique et des difficultés à utiliser le langage oral. Le présent article expose les particularités du traitement de l'information auditive dans l'autisme. En bref, les résultats de recherche permettent de mettre en lumière un profil inégal de capacités auditives dans cette population ; une supériorité pour traiter les sons simples et un traitement atypique des stimuli complexes. De plus, les particularités observées pour traiter les composantes auditives élémentaires semblent influencer le traitement de plus haut niveau, comme celui des stimuli langagiers. Une meilleure compréhension des mécanismes sous-tendant le traitement auditif atypique dans l'autisme pourrait avoir des conséquences majeures sur le niveau d'adaptation et le développement des capacités langagières dans cette population.

Mots-clés: Autism, autism spectrum disorders, auditory processing, simple, complex, speech, language

Traitement auditif dans l'autisme : Où en sommes-nous ?

L'autisme, typiquement décrit en termes de difficultés à entrer en interrelation, à communiquer ainsi que par la présence d'intérêts restreints et de comportements stéréotypés (American Psychiatric Association, 2000), est aussi associé de manière consistante à la présence d'un traitement perceptif atypique. On définit la perception comme étant la représentation que le cerveau se fait de l'environnement et il semble que les mécanismes perceptifs fonctionnent de manière différente chez les autistes par rapport aux non-autistes, tant en vision qu'en audition (Behrmann, Thomas, & Humphreys, 2006; Dakin & Frith, 2005; Samson, Mottron, Jemel, Belin, & Ciocca, 2006). Le présent article se veut un exposé des particularités du traitement de l'information auditive dans l'autisme et présente un compte-rendu de l'état actuel de ce champ de recherche. Mais tout d'abord, les notions de bases en perception auditive ainsi que les méthodes d'investigation utilisées dans ce domaine seront brièvement exposées.

Perception auditive

En audition, l'information sensorielle qui doit être perçue et décodée est l'onde sonore. Une telle onde peut être caractérisée par sa fréquence qui reflète la hauteur du son (i.e. grave/aigu) et son amplitude qui en reflète l'intensité (i.e. fort/faible). Au niveau le plus simple, les sons constitués d'une seule onde, une seule fréquence, sont appelés *sons purs*. Bien que ce type de son ne soit pas fréquemment rencontré de manière naturelle, le son de la flûte à bec étant celui qui s'en rapproche le plus, les sons purs sont souvent utilisés en recherche comme moyen d'investigation du traitement auditif élémentaire ; c'est-à-dire l'étape sur laquelle s'appuie le traitement des sons plus complexes. À partir d'un son pur, il est possible d'augmenter la complexité d'un son soit en y ajoutant des composantes ou ondes de fréquences différentes, ou encore en faisant varier sa fréquence et/ou son amplitude. Un son composé de plusieurs ondes, ou fréquences, est qualifié comme étant *spectralement* complexe, tandis qu'un son dont l'amplitude ou la fréquence varie dans le temps est défini comme étant *temporellement* complexe. La majorité des sons de notre environnement, tels que la parole ou la musique, combinent à la fois plusieurs composantes fréquentielles ainsi que des variations temporelles ; on définit donc ces sons comme étant *spectro-temporellement* complexes. Il est intéressant de noter, par contre, que la composition spectrale et temporelle de tels sons complexes varie, ce qui implique par exemple que c'est le décodage de l'information temporelle qui facilite la compréhension de la parole et que l'analyse de la musique repose plus fortement sur l'analyse de sa composition spectrale (Shannon, Zeng, Kamath, Wygonski, & Ekelid, 1995; Warrier & Zatorre, 2002).

Pour être analysée et décodée, l'onde sonore voyage à travers le système auditif qui est constitué de plusieurs relais fonctionnels accomplissant chacun une partie du traitement permettant de construire le percept auditif et, ultimement, de le lier avec nos connaissances et expériences. Au niveau périphérique, les ondes sonores sont transformées en signal nerveux dans la cochlée située dans l'oreille interne. Ensuite, ce signal progresse le long des noyaux du tronc cérébral qui jouent, entre autres, un rôle important dans la localisation sonore, l'analyse des changements temporels, l'attention auditive et l'intégration multi-sensorielle (Champoux et al., 2006; Chase & Young, 2008; Sinex & Chen, 2000). Puis, le signal arrive au niveau du cortex auditif primaire, responsable du décodage des composantes acoustiques élémentaires comme la fréquence et l'intensité (Bilecen, Seifritz, Scheffler, Henning, & Schulte, 2002; Formisano et al., 2003), et ensuite vers les aires corticales auditives non primaires qui répondent aux composantes spectralement et temporellement complexes des sons (Hall et al., 2002; Hart, Palmer, & Hall, 2003). Au-delà du cortex auditif, on trouve des régions du cerveau spécifiquement sensibles à des catégories auditives plus complexes comme le traitement langagier ou encore le traitement de stimuli musicaux (Belin, Zatorre, Lafaille, Ahad, & Pike, 2000; Davis & Johnsrude, 2003 ; Koelsch et al., 2002).

En recherche, plusieurs méthodes peuvent être utilisées afin d'étudier la capacité de traitement de l'information auditive. Au niveau *comportemental*, il est, entre autres, possible de mesurer les habilités de catégorisation, de détection ou de discrimination des stimuli auditifs. D'autre part, les méthodes dites *électrophysiologiques*, comme l'électro-encéphalographie (EEG) ou la magnétoencéphalographie (MEG), permettent de capter le signal électrique émanant des connections entre les neurones pour extraire des composantes reflétant le traitement auditif cortical et sous-cortical, par exemple la capacité de détection du changement sonore ou encore le niveau d'attention et de mémorisation auditive. Les méthodes de *neuroimagerie* sont aussi fréquemment utilisées dans le domaine des neurosciences de l'audition. Celles-ci sont utilisées afin de mettre en évidence les changements d'activité cérébrale associés à la réalisation de tâches cognitives (*neuroimagerie fonctionnelle*) ou encore pour visualiser les caractéristiques morphologiques des différentes structures cérébrales (*neuroimagerie anatomique*). Grâce à ces différentes techniques, il est possible de mieux comprendre comment l'information est analysée par le système auditif et ainsi de mettre en lumière des différences à ce niveau chez les personnes autistes par rapport aux individus non-autistes.

Le traitement auditif dans l'autisme

Les particularités perceptives des autistes ont été rapportées dès la première description de cette condition par Kanner (1943). En situation naturelle, les autistes réagissent de manière atypique face à certaines stimulations sensorielles. Au niveau auditif, on observe des réactions négatives à l'écoute de certains sons, par exemple le bruit de l'aspirateur ou encore celui du séchoir à cheveux (Grandin & Scariano, 1986). De manière similaire, l'hypersensibilité auditive, phénomène appelé hyperacousie, est rapportée de manière plus fréquente dans cette population (Gomes, Pedroso, & Wagner, 2008). De plus, les enfants autistes sont souvent soupçonnés de surdité en bas âge vu leur manque de réaction à la voix et cette caractéristique constitue l'un des signes utilisés pour en établir le diagnostic (Lord, Rutter, & Le Couteur, 1994). Toutefois, les personnes autistes peuvent aussi démontrer une attirance pour certains stimuli auditifs et certains vont même jusqu'à développer des compétences exceptionnelles dans cette modalité. Par exemple, l'oreille absolue, capacité musicale permettant d'identifier des notes de musique en l'absence de référence, est retrouvée 500 fois plus souvent dans la population autiste que dans la population générale (Rimland & Fein, 1988; Takeuchi & Hulse, 1993). De la même façon, certains autistes démontrent des habiletés d'improvisation et de mémorisation musicale hors-du-commun (Heaton, 2003; Miller, 1999). L'observation répétée de ces comportements atypiques en milieu naturel a motivé la réalisation de recherches empiriques visant à décrire et à comprendre les particularités du traitement des informations auditives dans l'autisme.

Au niveau comportemental, il a été démontré que les autistes ont tendance à décrire des sons purs d'intensité modérée ne provoquant aucun inconfort chez les individus non-autistes comme étant forts ou même trop forts (Khalifa et al., 2004). La tolérance auditive réduite des personnes autistes entraînent des réactions d'évitement, comme la couverture des oreilles avec les mains. Toutefois, il a été démontré que cette hypersensibilité est observée en l'absence d'anomalie auditive périphérique (Gomes, Rotta, Pedroso, Sleifer, & Danesi, 2004; Gravel, Dunn, Lee, & Ellis, 2006). Les études suggèrent plutôt qu'une 'hyper réactivité' au niveau cérébral puisse sous-tendre ces réactions atypiques. En effet, certaines études électrophysiologiques ont démontré des réponses corticales plus rapides et plus intenses à l'écoute de stimuli auditifs chez les autistes par rapport aux contrôles (Ferri et al., 2003; Gomot, Giard, Adrien, Barthelemy, & Bruneau, 2002). De manière similaire, une étude de neuroimagerie fonctionnelle a rapporté une détection plus rapide d'un changement dans une séquence auditive associée à un patron d'activité cérébrale plus étendu et plus intense chez les autistes par rapport à un groupe de participants non-autistes (Gomot, Belmonte, Bullmore, Bernard, & Baron-Cohen, 2008). D'un

TRAITEMENT AUDITIF DANS L'AUTISME : OÙ EN SOMMES-NOUS ?

autre côté, bien que les études menées auprès de participants autistes de bas niveau démontrent aussi un traitement atypique de l'intensité, elles rapportent plutôt des réponses corticales plus lentes par rapport à celle d'individus à développement typique (Bruneau, Bonnet-Brilhault, Gomot, Adrien, & Barthelemy, 2003; Bruneau, Roux, Adrien, & Barthelemy, 1999). Considérant qu'un profil similaire de réponses cérébrales prolongées est observé chez les personnes qui présentent un déficit langagier tant autistes que non-autistes (Oram Cardy, Flagg, Roberts, Brian, & Roberts, 2005; Oram Cardy, Flagg, Roberts, & Roberts, 2008), il est possible que l'hypo réactivité cérébrale observée chez les individus de bas niveau représente plutôt une particularité associée à leurs habilités langagières plutôt qu'au phénotype autistique. En bref, il semble que les études convergent vers l'hypothèse d'une origine centrale du phénomène d'hyperacousie dans l'autisme, soit des réponses cérébrales atypiques lors de la détection de stimuli auditifs dans cette population.

Parallèlement au phénomène d'hyper réactivité, on observe aussi une hyper discrimination auditive dans l'autisme. En fait, au niveau comportemental, la capacité supérieure des autistes pour discriminer des sons purs de fréquences différentes est le résultat le plus répliqué dans la littérature en perception auditive (Bonnell et al., 2010; Bonnell et al., 2003; Jones et al., 2009; O'Riordan & Passetti, 2006). De manière consistante, des études d'électrophysiologie ont montré une augmentation de la réponse corticale aux stimuli simples, à la fois plus rapide et plus ample, chez les personnes autistes (Lepisto et al., 2008; Lepisto et al., 2005; Lepisto, Nieminen-von Wendt, von Wendt, Naatanen, & Kujala, 2007; Oram Cardy, Ferrari, Flagg, Roberts, & Roberts, 2004). Bien qu'à ce jour aucune étude de neuroimagerie fonctionnelle n'ait pu mettre en lumière le réseau cérébral sous-tendant le traitement des sons simples dans l'autisme, une étude de neuroimagerie anatomique a récemment permis de démontrer une augmentation de l'épaisseur corticale de la région abritant le cortex auditif primaire dans cette population (Hyde, Samson, Evans, & Mottron, 2009). Considérant que le cortex auditif primaire est responsable de l'analyse des caractéristiques acoustiques élémentaires comme la fréquence, ce résultat suggère qu'un épaissement au niveau auditif primaire pourrait possiblement sous-tendre la supériorité des autistes pour discriminer les sons purs.

D'un autre côté, pour le traitement de stimuli plus complexes, les autistes ne démontrent pas une telle supériorité. En effet, une récente étude investiguant les capacités de discrimination pour un éventail de stimuli auditifs spectralement et temporellement complexes rapporte des niveaux de performance équivalents chez les autistes et les non-autistes (Bonnell, et al., 2010). Toutefois, au niveau

TRAITEMENT AUDITIF DANS L'AUTISME : OÙ EN SOMMES-NOUS ?

électrophysiologique, on observe à la fois des réponses typiques (Ceponiene et al., 2003; Whitehouse & Bishop, 2008) et atypiques (Lepisto, et al., 2005; Lepisto et al., 2006) à l'écoute de sons complexes chez les autistes. Au niveau neurofonctionnel, une représentation corticale atypique de la complexité auditive est retrouvée dans cette population; le traitement des sons complexes étant associé à une plus grande activité auditive primaire et, spécifiquement pour les sons temporellement complexes, à une baisse de l'activité des régions auditives non primaires chez les autistes par rapport aux contrôles (Samson et al., 2011). De manière consistante, les études neuroanatomiques rapportent une augmentation du volume du cortex auditif primaire (Hyde, et al., 2009) et une diminution du volume des régions auditives non primaires chez des adultes (Rojas, Bawn, Benkers, Reite, & Rogers, 2002) et les enfants/adolescents (Rojas, Camou, Reite, & Rogers, 2005) autistes comparativement aux non-autistes. Ce profil cérébral atypique pourrait sous-tendre certaines particularités du traitement auditif dans l'autisme.

D'une part, les autistes, en utilisant les mécanismes opérant au niveau de l'aire auditive primaire pour traiter l'information complexe, pourraient plus facilement percevoir et analyser les différentes composantes des sons. L'augmentation de l'activité auditive primaire associée à l'écoute de sons complexes pourrait donc possiblement sous-tendre la capacité supérieure des autistes à identifier les sons composants un accord (Heaton, 2003), à repérer un changement local dans une séquence de sons (Foxton et al., 2003; Mottron, Peretz, & Menard, 2000) ou encore à détecter plus rapidement un changement de hauteur dans une séquence de sons harmoniques (Gomot, et al., 2008). La réponse auditive primaire plus importante dans l'autisme pourrait donc être en lien avec une meilleure décomposition et analyse des fréquences composant le matériel auditif complexe, entraînant ainsi des performances supérieures pour des tâches pouvant bénéficier d'une telle décomposition.

D'autre part, les résultats d'études comportementales sont consistants avec une altération corticale spécifique liée au traitement de la complexité temporelle. En effet, pour une tâche de détection de mots présentés dans du bruit, les autistes montrent une capacité réduite à utiliser les changements temporels du bruit de fond pour extraire le signal comparativement aux non-autistes, tandis qu'aucune différence n'est retrouvée pour la détection des mots présentés dans un bruit de fond contenant plusieurs composantes fréquentielles (i.e. spectralement complexe) (Alcantara, Weisblatt, Moore, & Bolton, 2004; Groen et al., 2009). Comme les autistes démontrent une capacité intacte de discrimination de la complexité temporelle (Bonnel, et al., 2010), il est possible que les autistes

TRAITEMENT AUDITIF DANS L'AUTISME : OÙ EN SOMMES-NOUS ?

montrent plutôt une difficulté à intégrer l'information temporelle lors de la réalisation de tâches plus complexes, comme la détection de sons présentés dans du bruit, ou encore lors du traitement de stimuli plus complexes. Par exemple, des études d'imagerie cérébrale ont rapporté une réduction de l'activité du cortex auditif chez les autistes en réponse à des stimuli non langagiers mais possédant toute la complexité de sons vocaux (Boddaert et al., 2003; Boddaert et al., 2004). En bref, un traitement atypique de la complexité temporelle au niveau comportemental et cérébral semble pouvoir être mis en lumière dans l'autisme.

L'observation d'un traitement atypique de la complexité temporelle suggère aussi une relation avec un traitement atypique de l'information langagière dans l'autisme. En effet, la reconnaissance et la compréhension des sons vocaux et langagiers reposent essentiellement sur l'analyse des variations temporelles qu'ils contiennent (Shannon, et al., 1995). Il est donc possible qu'un traitement atypique de la complexité temporelle puisse aussi sous-tendre certains déficits du traitement des stimuli à caractère langagier. Par exemple, on rapporte chez les autistes une baisse de l'orientation spontanée aux stimuli vocaux (Ceponiene, et al., 2003; Kuhl, Coffey-Corina, Padden, & Dawson, 2005) ou encore un niveau de performance inférieur pour percevoir les indices prosodiques (Kujala, Lepisto, Nieminen-von Wendt, Naatanen, & Naatanen, 2005; Peppe, McCann, Gibbon, O'Hare, & Rutherford, 2007). Aussi, certaines études rapportent des réponses cérébrales réduites ou retardées en réponse à des voyelles ou des syllabes dans cette population (Jansson-Verkasalo et al., 2003; Kasai et al., 2005; Lepisto, et al., 2005; Lepisto, et al., 2006; Oram Cardy, et al., 2005; Russo, Zecker, Trommer, Chen, & Kraus, 2009). De manière similaire, une absence d'activité de la région corticale spécifiquement recrutée lors du traitement de la voix a été observée en réponse à des stimuli vocaux chez un groupe d'autistes en comparaison à un groupe d'individus à développement typique (Gervais et al., 2004). En lien avec ces différences, on observe chez les autistes des réponses sous-corticales moins amples et plus lentes lors du traitement de stimuli vocaux (Russo, et al., 2009). Considérant que les potentiels auditifs du tronc cérébral représentent une mesure de la capacité d'intégration des indices temporeux, particulièrement lors du traitement de stimuli langagiers, au niveau sous-cortical (Johnson, Nicol, Zecker, & Kraus, 2007), ce résultat suggère une intégration atypique des indices liés à la compréhension de la parole au niveau des noyaux sous-corticaux dans l'autisme. Le long du système auditif, les stimuli langagiers sont d'abord analysés au niveau des aires auditives primaires et non primaires avant de rejoindre des régions corticales plus spécialisées (Scott & Johnsrude, 2003). Il est donc possible que des différences au niveau du traitement auditif plus élémentaire, comme l'extraction des indices de variations temporelles,

TRAITEMENT AUDITIF DANS L'AUTISME : OÙ EN SOMMES-NOUS ?

puissent avoir des conséquences sur le traitement de plus haut niveau. Plus spécifiquement, le traitement atypique de l'information temporelle observé dans l'autisme pourrait, du moins en partie, sous-tendre certaines des particularités du traitement langagier retrouvées chez ces individus et, ainsi, avoir un impact sur leur habilité à communiquer.

Dans le même ordre d'idées, il est possible que l'hyper discrimination des fréquences auditives qu'on observe chez les autistes puisse influencer leur traitement des stimuli langagiers. D'ailleurs, une étude de cas a permis de démontrer une supériorité lors de l'identification de la composition fréquentielle de stimuli syllabiques chez un individu autiste par rapport à un groupe d'individus non-autistes (Heaton, Davis, & Happe, 2008). Aussi, en utilisant une tâche de discrimination de paires de mots de fréquences variables, Heaton et ses collaborateurs (2008) ont démontré un niveau de performance supérieur chez les autistes pour discriminer les paires différentes par rapport aux non-autistes. Enfin, des tâches de traitement langagier pouvant être réalisées en utilisant l'information soit perceptive ou sémantique contenue dans les stimuli ont révélé un traitement supérieur des composantes perceptives de la parole dans l'autisme et un biais vers le niveau sémantique dans le développement typique (Jarvinen-Pasley & Heaton, 2007; Jarvinen-Pasley, Wallace, Ramus, Happe, & Heaton, 2008). Il semble donc que les autistes puissent décoder avec succès, mais à leur manière, des stimuli langagiers complexes ; c'est-à-dire en utilisant leur capacité supérieure pour traiter les composantes acoustiques plus simples, comme la fréquence.

En résumé, la recherche démontre un profil atypique de traitement de l'information auditive dans l'autisme à la fois au niveau comportemental et au niveau cortical. D'une part, les autistes obtiennent des performances supérieures à celles des contrôles pour traiter les sons simples, plus spécifiquement pour discriminer la fréquence des sons purs. Il semble que cette supériorité puisse avantager les autistes lors du traitement de sons complexes, par exemple pour décomposer les sons composants un accord de musique. De manière similaire, les personnes autistes réussissent mieux que les non-autistes les tâches qui requièrent une analyse de la composition fréquentielle des stimuli langagiers. D'autre part, on observe un traitement atypique de la complexité auditive chez les autistes, plus spécifiquement des variations temporelles des sons. Considérant les difficultés que présentent les autistes pour traiter les stimuli langagiers ainsi que l'importance des indices temporels pour la compréhension de la parole, il est possible que le traitement atypique des stimuli temporellement complexes puisse influencer le traitement de la parole et le langage dans cette population. Les

TRAITEMENT AUDITIF DANS L'AUTISME : OÙ EN SOMMES-NOUS ?

recherches futures devraient donc plus spécifiquement se pencher sur le lien existant entre les particularités du traitement auditif dans l'autisme et leur capacité à développer et à traiter le langage considérant la place centrale qu'occupent les problèmes de communication dans cette population.

Une meilleure compréhension des mécanismes sous-tendant le traitement auditif atypique chez les personnes autistes pourrait avoir des implications pour les interventions cliniques. En effet, les avancées de la recherche dans ce domaine pourraient éventuellement mener à l'identification de marqueurs diagnostiques. Par exemple, une étude rapporte des « réactions atypiques aux stimuli auditifs » chez tous les enfants autistes et chez aucun des enfants non-autistes de leur échantillon (Dahlgren & Gillberg, 1989), suggérant le caractère spécifique de ces particularités. L'accumulation de données supportant de telles particularités auditives dans l'autisme pourrait mener à la modification et au raffinement des outils utilisés pour le diagnostic. Au niveau des méthodes de réadaptation, une meilleure compréhension des particularités du traitement de l'information auditive chez les autistes pourrait aider à adapter l'environnement pour éviter les réactions aversives. En effet, une étude récente portant sur la relation entre le traitement sensoriel atypique et la réussite scolaire chez des enfants autistes d'intelligence normale rapporte que l'hypersensibilité aux bruits ainsi que la difficulté à filtrer l'information auditive en classe expliquerait, en majeure partie, les difficultés académiques de ces enfants (Ashburner, Ziviani, & Rodger, 2008). Une adaptation de l'environnement scolaire pourrait donc permettre de potentialiser l'assimilation de l'information et le développement cognitif des autistes. De plus, une adaptation des méthodes de présentation de l'information pourrait possiblement permettre aux enfants autistes de se familiariser à leur façon avec différents matériels et, ainsi, maximiser leur apprentissage (Dawson, Mottron, & Gernsbacher, 2008).

REFERENCES

- Alcantara, J. I., Weisblatt, E. J., Moore, B. C., & Bolton, P. F. (2004). Speech-in-noise perception in high-functioning individuals with autism or Asperger's syndrome. *J Child Psychol Psychiatry, 45*(6), 1107-1114.
- American Psychiatric Association. (2000). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders : DSM-IV-TR* (4th ed.). Washington, DC: American Psychiatric Association.
- Ashburner, J., Ziviani, J., & Rodger, S. (2008). Sensory processing and classroom emotional, behavioral, and educational outcomes in children with autism spectrum disorder. *Am J Occup Ther, 62*(5), 564-573.
- Behrmann, M., Thomas, C., & Humphreys, K. (2006). Seeing it differently: visual processing in autism. *Trends Cogn Sci, 10*(6), 258-264.
- Belin, P., Zatorre, R. J., Lafaille, P., Ahad, P., & Pike, B. (2000). Voice-selective areas in human auditory cortex. *Nature, 403*(6767), 309-312.
- Bilecen, D., Seifritz, E., Scheffler, K., Henning, J., & Schulte, A. C. (2002). Amplitude selectivity of the human auditory cortex: an fMRI study. *Neuroimage, 17*(2), 710-718.
- Boddaert, N., Belin, P., Chabane, N., Poline, J. B., Barthelemy, C., Mouren-Simeoni, M. C., et al. (2003). Perception of complex sounds: abnormal pattern of cortical activation in autism. *Am J Psychiatry, 160*(11), 2057-2060.
- Boddaert, N., Chabane, N., Belin, P., Bourgeois, M., Royer, V., Barthelemy, C., et al. (2004). Perception of complex sounds in autism: abnormal auditory cortical processing in children. *Am J Psychiatry, 161*(11), 2117-2120.
- Bonnell, A., McAdams, S., Smith, B., Berthiaume, C., Bertone, A., Burack, J., et al. (2010). Enhanced pure-tone pitch discrimination among persons with autism but not Asperger syndrome. *Neuropsychologia, 48*, 2465-2475.
- Bonnell, A., Mottron, L., Peretz, I., Trudel, M., Gallun, E., & Bonnell, A. M. (2003). Enhanced pitch sensitivity in individuals with autism: a signal detection analysis. *J Cogn Neurosci, 15*(2), 226-235.
- Bruneau, N., Bonnet-Brilhault, F., Gomot, M., Adrien, J. L., & Barthelemy, C. (2003). Cortical auditory processing and communication in children with autism: electrophysiological/behavioral relations. *Int J Psychophysiol, 51*(1), 17-25.
- Bruneau, N., Roux, S., Adrien, J. L., & Barthelemy, C. (1999). Auditory associative cortex dysfunction in children with autism: evidence from late auditory evoked potentials (N1 wave-T complex). *Clin Neurophysiol, 110*(11), 1927-1934.
- Ceponiene, R., Lepisto, T., Shestakova, A., Vanhala, R., Alku, P., Naatanen, R., et al. (2003). Speech-sound-selective auditory impairment in children with autism: they can perceive but do not attend. *Proc Natl Acad Sci U S A, 100*(9), 5567-5572.
- Champoux, F., Tremblay, C., Mercier, C., Lassonde, M., Lepore, F., Gagne, J. P., et al. (2006). A role for the inferior colliculus in multisensory speech integration. *Neuroreport, 17*(15), 1607-1610.
- Chase, S. M., & Young, E. D. (2008). Cues for sound localization are encoded in multiple aspects of spike trains in the inferior colliculus. *J Neurophysiol, 99*(4), 1672-1682.
- Dahlgren, S. O., & Gillberg, C. (1989). Symptoms in the first two years of life. A preliminary population study of infantile autism. *Eur Arch Psychiatry Neurol Sci, 238*(3), 169-174.
- Dakin, S., & Frith, U. (2005). Vagaries of visual perception in autism. *Neuron, 48*(3), 497-507.
- Davis, M. H., & Johnsruide, I. S. (2003). Hierarchical processing in spoken language comprehension. *J Neurosci, 23*(8), 3423-3431.

TRAITEMENT AUDITIF DANS L'AUTISME : OÙ EN SOMMES-NOUS ?

- Dawson, M., Mottron, L., & Gernsbacher, M. A. (2008). Learning in autism. In Learning and memory: a comprehensive reference. In J. B. H. L. Roediger (Ed.), *Cognitive psychology* (pp. 759–772). Oxford, UK: Elsevier.
- Ferri, R., Elia, M., Agarwal, N., Lanuzza, B., Musumeci, S. A., & Pennisi, G. (2003). The mismatch negativity and the P3a components of the auditory event-related potentials in autistic low-functioning subjects. *Clin Neurophysiol*, *114*(9), 1671-1680.
- Formisano, E., Kim, D. S., Di Salle, F., van de Moortele, P. F., Ugurbil, K., & Goebel, R. (2003). Mirror-symmetric tonotopic maps in human primary auditory cortex. *Neuron*, *40*(4), 859-869.
- Foxton, J. M., Stewart, M. E., Barnard, L., Rodgers, J., Young, A. H., O'Brien, G., et al. (2003). Absence of auditory 'global interference' in autism. *Brain*, *126*(Pt 12), 2703-2709.
- Gervais, H., Belin, P., Boddaert, N., Leboyer, M., Coez, A., Sfaello, I., et al. (2004). Abnormal cortical voice processing in autism. *Nat Neurosci*, *7*(8), 801-802.
- Gomes, E., Pedroso, F. S., & Wagner, M. B. (2008). Auditory hypersensitivity in the autistic spectrum disorder. *Pro Fono*, *20*(4), 279-284.
- Gomes, E., Rotta, N. T., Pedroso, F. S., Sleifer, P., & Danesi, M. C. (2004). Auditory hypersensitivity in children and teenagers with autistic spectrum disorder. *Arq Neuropsiquiatr*, *62*(3B), 797-801.
- Gomot, M., Belmonte, M. K., Bullmore, E. T., Bernard, F. A., & Baron-Cohen, S. (2008). Brain hyper-reactivity to auditory novel targets in children with high-functioning autism. *Brain*, *131*(Pt 9), 2479-2488.
- Gomot, M., Giard, M. H., Adrien, J. L., Barthelemy, C., & Bruneau, N. (2002). Hypersensitivity to acoustic change in children with autism: electrophysiological evidence of left frontal cortex dysfunctioning. *Psychophysiology*, *39*(5), 577-584.
- Grandin, T., & Scariano, M. (1986). *Emergence Labeled Autistic*. Novato, California: Academic Therapy Publications.
- Gravel, J. S., Dunn, M., Lee, W. W., & Ellis, M. A. (2006). Peripheral audition of children on the autistic spectrum. *Ear Hear*, *27*(3), 299-312.
- Groen, W. B., van Orsouw, L., Huurne, N. T., Swinkels, S., van der Gaag, R. J., Buitelaar, J. K., et al. (2009). Intact Spectral but Abnormal Temporal Processing of Auditory Stimuli in Autism. *J Autism Dev Disord*.
- Hall, D. A., Johnsrude, I. S., Haggard, M. P., Palmer, A. R., Akeroyd, M. A., & Summerfield, A. Q. (2002). Spectral and temporal processing in human auditory cortex. *Cereb Cortex*, *12*(2), 140-149.
- Hart, H. C., Palmer, A. R., & Hall, D. A. (2003). Amplitude and frequency-modulated stimuli activate common regions of human auditory cortex. *Cereb Cortex*, *13*(7), 773-781.
- Heaton, P. (2003). Pitch memory, labelling and disembedding in autism. *J Child Psychol Psychiatry*, *44*(4), 543-551.
- Heaton, P., Davis, R. E., & Happe, F. G. (2008). Research note: exceptional absolute pitch perception for spoken words in an able adult with autism. *Neuropsychologia*, *46*(7), 2095-2098.
- Heaton, P., Hudry, K., Ludlow, A., & Hill, E. (2008). Superior discrimination of speech pitch and its relationship to verbal ability in autism spectrum disorders. *Cogn Neuropsychol*, *25*(6), 771-782.
- Hyde, K. L., Samson, F., Evans, A. C., & Mottron, L. (2009). Neuroanatomical differences in brain areas implicated in perceptual and other core features of autism revealed by cortical thickness analysis and voxel-based morphometry. *Hum Brain Mapp*.
- Jansson-Verkasalo, E., Ceponiene, R., Kielinen, M., Suominen, K., Jantti, V., Linna, S. L., et al. (2003). Deficient auditory processing in children with Asperger Syndrome, as indexed by event-related potentials. *Neurosci Lett*, *338*(3), 197-200.
- Jarvinen-Pasley, A., & Heaton, P. (2007). Evidence for reduced domain-specificity in auditory processing in autism. *Dev Sci*, *10*(6), 786-793.

TRAITEMENT AUDITIF DANS L'AUTISME : OÙ EN SOMMES-NOUS ?

- Jarvinen-Pasley, A., Wallace, G. L., Ramus, F., Happe, F., & Heaton, P. (2008). Enhanced perceptual processing of speech in autism. *Dev Sci*, *11*(1), 109-121.
- Johnson, K. L., Nicol, T. G., Zecker, S. G., & Kraus, N. (2007). Auditory brainstem correlates of perceptual timing deficits. [Research Support, N.I.H., Extramural]. *J Cogn Neurosci*, *19*(3), 376-385.
- Jones, C. R., Happe, F., Baird, G., Simonoff, E., Marsden, A. J., Tregay, J., et al. (2009). Auditory discrimination and auditory sensory behaviours in autism spectrum disorders. *Neuropsychologia*.
- Kanner, L. (1943). Autistic disturbance of affective contact. *Nervous Child*, *2*, 217-250.
- Kasai, K., Hashimoto, O., Kawakubo, Y., Yumoto, M., Kamio, S., Itoh, K., et al. (2005). Delayed automatic detection of change in speech sounds in adults with autism: a magnetoencephalographic study. *Clin Neurophysiol*, *116*(7), 1655-1664.
- Khalifa, S., Bruneau, N., Roge, B., Georgieff, N., Veillet, E., Adrien, J. L., et al. (2004). Increased perception of loudness in autism. *Hear Res*, *198*(1-2), 87-92.
- Koelsch, S., Gunter, T. C., v Cramon, D. Y., Zysset, S., Lohmann, G., & Friederici, A. D. (2002). Bach speaks: a cortical "language-network" serves the processing of music. *Neuroimage*, *17*(2), 956-966.
- Kuhl, P. K., Coffey-Corina, S., Padden, D., & Dawson, G. (2005). Links between social and linguistic processing of speech in preschool children with autism: behavioral and electrophysiological measures. *Dev Sci*, *8*(1), F1-F12.
- Kujala, T., Lepisto, T., Nieminen-von Wendt, T., Naatanen, P., & Naatanen, R. (2005). Neurophysiological evidence for cortical discrimination impairment of prosody in Asperger syndrome. *Neurosci Lett*, *383*(3), 260-265.
- Lepisto, T., Kajander, M., Vanhala, R., Alku, P., Huotilainen, M., Naatanen, R., et al. (2008). The perception of invariant speech features in children with autism. *Biol Psychol*, *77*(1), 25-31.
- Lepisto, T., Kujala, T., Vanhala, R., Alku, P., Huotilainen, M., & Naatanen, R. (2005). The discrimination of and orienting to speech and non-speech sounds in children with autism. *Brain Res*, *1066*(1-2), 147-157.
- Lepisto, T., Nieminen-von Wendt, T., von Wendt, L., Naatanen, R., & Kujala, T. (2007). Auditory cortical change detection in adults with Asperger syndrome. *Neurosci Lett*, *414*(2), 136-140.
- Lepisto, T., Silokallio, S., Nieminen-von Wendt, T., Alku, P., Naatanen, R., & Kujala, T. (2006). Auditory perception and attention as reflected by the brain event-related potentials in children with Asperger syndrome. *Clin Neurophysiol*, *117*(10), 2161-2171.
- Lord, C., Rutter, M., & Le Couteur, A. (1994). Autism Diagnostic Interview-Revised: a revised version of a diagnostic interview for caregivers of individuals with possible pervasive developmental disorders. *J Autism Dev Disord*, *24*(5), 659-685.
- Miller, L. K. (1999). The savant syndrome: intellectual impairment and exceptional skill. *Psychol Bull*, *125*(1), 31-46.
- Mottron, L., Peretz, I., & Menard, E. (2000). Local and global processing of music in high-functioning persons with autism: beyond central coherence? *J Child Psychol Psychiatry*, *41*(8), 1057-1065.
- O'Riordan, M., & Passetti, F. (2006). Discrimination in autism within different sensory modalities. *J Autism Dev Disord*, *36*(5), 665-675.
- Oram Cardy, J. E., Ferrari, P., Flagg, E. J., Roberts, W., & Roberts, T. P. (2004). Prominence of M50 auditory evoked response over M100 in childhood and autism. *Neuroreport*, *15*(12), 1867-1870.
- Oram Cardy, J. E., Flagg, E. J., Roberts, W., Brian, J., & Roberts, T. P. (2005). Magnetoencephalography identifies rapid temporal processing deficit in autism and language impairment. *Neuroreport*, *16*(4), 329-332.
- Oram Cardy, J. E., Flagg, E. J., Roberts, W., & Roberts, T. P. (2008). Auditory evoked fields predict language ability and impairment in children. *Int J Psychophysiol*, *68*(2), 170-175.

TRAITEMENT AUDITIF DANS L'AUTISME : OÙ EN SOMMES-NOUS ?

- Peppe, S., McCann, J., Gibbon, F., O'Hare, A., & Rutherford, M. (2007). Receptive and expressive prosodic ability in children with high-functioning autism. *J Speech Lang Hear Res, 50*(4), 1015-1028.
- Rimland, B., & Fein, D. (1988). Special talents of autistic savants. In L. K. Obler & D. Fein (Eds.), *The exceptional brain*. New York, NY: Guilford Press.
- Rojas, D. C., Bawn, S. D., Benkers, T. L., Reite, M. L., & Rogers, S. J. (2002). Smaller left hemisphere planum temporale in adults with autistic disorder. *Neurosci Lett, 328*(3), 237-240.
- Rojas, D. C., Camou, S. L., Reite, M. L., & Rogers, S. J. (2005). Planum temporale volume in children and adolescents with autism. *J Autism Dev Disord, 35*(4), 479-486.
- Russo, N., Zecker, S., Trommer, B., Chen, J., & Kraus, N. (2009). Effects of Background Noise on Cortical Encoding of Speech in Autism Spectrum Disorders. *J Autism Dev Disord*.
- Samson, F., Hyde, K. L., Bertone, A., Soulieres, I., Mendrek, A., Ahad, P., et al. (2011). Atypical processing of auditory temporal complexity in autistics. [Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Neuropsychologia, 49*(3), 546-555.
- Samson, F., Mottron, L., Jemel, B., Belin, P., & Ciocca, V. (2006). Can spectro-temporal complexity explain the autistic pattern of performance on auditory tasks? *J Autism Dev Disord, 36*(1), 65-76.
- Scott, S. K., & Johnsrude, I. S. (2003). The neuroanatomical and functional organization of speech perception. *Trends Neurosci, 26*(2), 100-107.
- Shannon, R. V., Zeng, F. G., Kamath, V., Wygonski, J., & Ekelid, M. (1995). Speech recognition with primarily temporal cues. *Science, 270*(5234), 303-304.
- Sinex, D. G., & Chen, G. D. (2000). Neural responses to the onset of voicing are unrelated to other measures of temporal resolution. *J Acoust Soc Am, 107*(1), 486-495.
- Takeuchi, A. H., & Hulse, S. H. (1993). Absolute pitch. *Psychol Bull, 113*(2), 345-361.
- Warrier, C., & Zatorre, R. (2002). Influence of tonal context and timbral variation on perception of pitch. *Percept Psychophys, 64*(2), 198-207.
- Whitehouse, A. J., & Bishop, D. V. (2008). Do children with autism 'switch off' to speech sounds? An investigation using event-related potentials. *Dev Sci, 11*(4), 516-524.