



**HAL**  
open science

# La musique comme outil thérapeutique durant la petite enfance

Clément François, Solène Pichon

► **To cite this version:**

Clément François, Solène Pichon. La musique comme outil thérapeutique durant la petite enfance. E. Bigand; G. Mick. Musique science et santé, Dunod, À paraître, Nouveaux chemins de la santé, 9782100800261. hal-04367008

**HAL Id: hal-04367008**

**<https://hal.science/hal-04367008v1>**

Submitted on 29 Dec 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# La musique comme outil thérapeutique durant la petite enfance

Clément François<sup>1</sup>, Solène Pichon<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Aix Marseille Univ, CNRS, LPL, (13100) Aix-en-Provence, France

<sup>2</sup> Service de néonatalogie, Hôpital Dijon-Bourgogne

*Auteur de correspondance:* Clément François: Laboratoire Parole et Langage, 5 avenue Pasteur, 13100, Aix-en-Provence, [clement.francois@univ-amu.fr](mailto:clement.francois@univ-amu.fr) telf. +33 413552714

Les progrès de la médecine néonatale et particulièrement des soins néonataux ont permis d'augmenter le taux de survie sans séquelles et d'améliorer la qualité de vie des nouveau-nés prématurés. La prématurité se définit comme la naissance d'un nouveau-né avant trente-sept semaines d'aménorrhée (arrêt des menstruations, SA), concerne 15 millions de naissances dans le monde chaque année (Blencowe et al., 2012) et plus de soixante mille nouveau-nés en France soit 8 % des naissances (Blondel et al., 2012). Trois niveaux de prématurité sont à distinguer : la prématurité moyenne survenant à partir de trente-deux SA et qui concerne 85 % des naissances, la grande prématurité touchant 10 % des naissances entre vingt-huit et trente-deux SA, et enfin l'extrême prématurité correspondant à 5 % des naissances et intervenant avant vingt-huit SA. Malheureusement, naître trop tôt peut avoir des répercussions négatives à long terme, notamment du fait de troubles neurodéveloppementaux, cognitifs, et linguistiques pouvant à encore plus long terme nuire à la réussite scolaire et académique (Anderson et Doyle, 2008 ; Ment et Vohr, 2008 ; WHO « Born Too Soon », 2019). En effet, environ 25 % à 30 % des grands prématurés présentent des retards d'acquisition des fonctions linguistiques entre 2 et 3 ans (Sansavini et al., 2010). Par ailleurs, une méta-analyse de 277 études a montré que le niveau d'immatunité à la naissance semble être directement lié à certaines altérations des capacités cognitives à l'âge scolaire, avec une incidence accrue de troubles de l'attention (Bhutta et al., 2002).

Dans ce chapitre, nous proposons une brève description des compétences perceptives précoces chez le bébé né à terme pour mieux comprendre les conséquences d'une naissance prématurée sur ces compétences. Nous poursuivrons par une revue des quelques études se basant sur des protocoles d'intervention ou de stimulation musicales précoces, mettant un accent particulier sur l'effet de la voix chantée.

## **1. Perception auditive du tout petit**

### ***1.1. Avant la naissance***

Quelques mois avant la naissance, dès le cinquième mois de grossesse, le système auditif fœtal est fonctionnel, mais reste immature jusqu'au 8e mois. Le troisième trimestre de grossesse est le moment de nombreux changements dans le cerveau du fœtus, la migration neuronale étant particulièrement active, donnant peu à peu naissance à l'architecture cellulaire en couches typique du cortex cérébral, visible vers trente-deux semaines d'aménorrhée (Kanold et Luhmann, 2010 ; Kostović, 2002 ; Kostović et Jovanov-Milošević, 2006). Concrètement, cela signifie que le fœtus peut percevoir déjà assez bien certains sons. Grâce à un mécanisme de transmission acoustique liquidienne, le fœtus se développe au rythme des battements cardiaques de sa mère et du rythme régulier de sa respiration. Le milieu liquidien que constitue le liquide amniotique dégrade fortement la perception des consonnes tout en étant plus permissif à la diffusion des fréquences plus basses, à la base de la perception de la mélodie du langage, appelée prosodie (Griffiths et al., 1994). En effet, lorsque les sons viennent de l'extérieur, ils traversent les tissus de l'abdomen de la mère, le liquide amniotique ainsi que la paroi utérine, et sont atténués avec une intensité perçue ne dépassant pas les 60 dB. Ainsi, dès qu'il a atteint la trentième semaine, le fœtus présente des capacités sensorielles tout à fait considérables même si immatures, qu'il est possible de mesurer grâce à différentes méthodes non invasives telles que l'échodoppler ou des capteurs à ultrasons. Il réagit à différents types de stimulations auditives ou vibro-acoustiques (présentant à la fois une

composante acoustique et une composante mécanique vibratoire), qui vont entraîner des modulations de son activité cardiaque et de son activité motrice (DeCasper et al., 1994 ; Granier-Deferre et al., 2011 ; Lecanuet et al., 1988 ; 2000). Les capacités perceptives fœtales peuvent aussi être étudiées grâce à la magnéto-encéphalographie, méthode de neuro-imagerie permettant de mesurer à distance l'activité magnétique cérébrale générée par la synchronisation de milliers de neurones corticaux. Il a été montré qu'autour de la vingt-huitième semaine de gestation, le fœtus présente la réponse corticale dite de « négativité de discordance » ou MMN (mismatch negativity), en réponse à un changement de hauteur tonale (Blum et al., 1985 ; Draganova et al., 2005 ; Holst et al., 2005 ; Huotilainen et al., 2005). Cette composante des potentiels évoqués auditifs est une réponse cérébrale typique, décrite chez l'adulte, l'enfant et le nouveau-né, qui est induite par un changement peu fréquent dans une série continue de sons identiques et répétés (un son pur, un son complexe, une syllabe, une note de piano). La MMN illustre la détection automatique d'un changement en relation avec la formation d'une trace mnésique échoïque (Näätänen et al., 2005).

## 1.2. *Après la naissance*

La naissance représente un moment particulier pour le tout-petit, puisqu'il va faire face à un nouveau type d'environnement, bruyant, non filtré, dans lequel la perception auditive passe d'un mode de conduction liquidien à un mode aérien. Le nouveau-né est déjà doté de compétences dans le domaine de la perception auditive, qui sont désormais plus facilement observables, accessibles et quantifiables. De nombreuses études basées sur l'observation du comportement du nouveau-né, comme le taux de succion non nutritif, ont pu montrer que le nouveau-né perçoit très bien des différences acoustiques fines présentes dans le signal de parole, qu'il reconnaît les voix familières et les différentes syllabes (Bertoncini *et al.*, 1987 ; DeCasper et Spence, 1986 ; Eimas *et al.*, 1971 ; Floccia *et al.*, 2000 ; Moon *et al.*, 1992, 1993 ; Nazzi *et al.*, 1998 ; Sansavini *et al.*, 1997a). La méthode d'imagerie fonctionnelle par résonance magnétique a, quant à elle, permis de mettre en évidence les réseaux cérébraux impliqués dans le traitement du langage et de la musique chez le nouveau-né de quelques jours de vie (Perani *et al.*, 2010 ; 2011). La perception de stimuli linguistiques va induire l'activation dans le cerveau d'un large réseau cortical frontotemporal bilatéral, impliquant principalement le gyrus de Heschl, le planum temporale, mais aussi les gyri frontal inférieur, temporal moyen et pariétal inférieur (Dehaene-Lambertz, 2000 ; Dehaene-Lambertz *et al.*, 2002 ; Perani *et al.*, 2011).

Au cours de la première année de vie, le bébé va connaître un raffinement progressif de sa perception, tant pour les sons linguistiques que pour les sons musicaux (Brandt *et al.*, 2012 ; Werker et Tees, 2002). Dans les tout premiers mois de sa vie, le bébé perçoit très bien les phonèmes de pratiquement toutes les langues du monde, même ceux qui ne sont pas présents dans le répertoire phonologique de sa langue maternelle, on le dit alors « citoyen du monde ». Petit à petit va se mettre en place une spécialisation de la perception pour les contrastes auxquels le bébé est exposé dans sa langue maternelle, on parle alors de phénomène de rétrécissement ou accordage perceptif. Parallèlement à cette amélioration perceptive des contrastes phonologiques natifs, une réduction de la sensibilité aux contrastes non natifs est observée (Cheour *et al.*, 1998 ; Kuhl, 2004 ; Rivera-Gaxiola *et al.*, 2005). Ainsi, une étude célèbre s'intéressant à cette spécialisation perceptive au cours de la première année de vie a été menée chez quatre groupes de bébés d'âges différents et exposés à des langues différentes (Kuhl *et al.*, 2006). Deux groupes de bébés japonais et deux groupes de bébés américains à 6-8 mois et 10-12 mois ont été évalués sur la capacité à discriminer un contraste phonétique qui n'est présent que dans l'anglais, le contraste /ra/ *versus* /la/. Alors qu'entre 6 et 8 mois, les bébés japonais et américains catégorisent de la même manière

ce contraste, les bébés japonais ne discriminent plus ce contraste entre 10 et 12 mois, alors que les bébés américains conservent cette sensibilité. Les bébés exposés au japonais semblent avoir perdu la sensibilité à ce contraste phonologique entre 8 et 10 mois. Ainsi, jusqu'aux alentours de 10 mois, le bébé différencie les consonnes de différentes langues mais il a déjà perdu cette sensibilité pour les voyelles entre 6 et 8 mois (Polka et Werker, 1994 ; Werker *et al.*, 2012 ; Werker et Tees, 2002). Un autre aspect important de la perception de la parole concerne ses aspects rythmiques, qui dépendent notamment de l'alternance de syllabes plus ou moins accentuées. Les langues comme le français ou l'anglais peuvent se distinguer vis-à-vis de leurs patrons d'accentuations rythmiques, de type trochaïque en anglais et iambique en français. Ainsi, il a été montré que les nouveau-nés peuvent distinguer deux langues sur la base des différences de patrons rythmiques (Sansavini *et al.*, 1997b), même s'ils montrent une préférence pour leur langue maternelle (Moon *et al.*, 1993). Tout comme la perception phonologique, cette sensibilité aux patrons rythmiques va petit à petit se spécialiser par simple exposition à l'environnement, entraînant un raffinement de la perception des patrons rythmiques natifs et une diminution de la sensibilité aux patrons rythmiques non natifs. Alors que les bébés de 4 mois discriminent encore des langages de classes rythmiques différentes (Nazzi et Ramus, 2003), ce n'est qu'à partir du 5<sup>e</sup> mois qu'ils peuvent différencier deux langages différents mais faisant partie de la même classe rythmique (Jusczyk *et al.*, 1993 ; Nazzi *et al.*, 2000). Bien entendu, l'acquisition du langage continue de se développer après la première année de vie, se traduisant par la maîtrise de différents niveaux linguistiques plus complexes comme la grammaire, la syntaxe et bien d'autres encore. Ces différentes compétences sont vraisemblablement sous-tendues par le développement croissant d'un réseau cérébral complexe (Catani et Bambini, 2014).

## 2. Perception de la musique

Pour ce qui est des réseaux corticaux sous-tendant la perception et le traitement de la musique, les travaux en imagerie fonctionnelle cérébrale (IRMf) montrent qu'en comparaison à des périodes de silence, la présentation de pièces de musique classique induit des activations prédominantes au niveau de l'hémisphère droit et plus particulièrement au niveau du cortex auditif primaire et secondaire situé dans les gyri temporal supérieur et de Heschl, le planum polaire et temporale, la jonction temporo-pariétale, et le lobe pariétal inférieur (Perani *et al.*, 2010). D'autres travaux utilisant l'électrophysiologie ont montré que le nouveau-né reconnaît la voix de sa mère, mémorise les berceuses qu'elle lui a chantées pendant la grossesse et traite préférentiellement le système harmonique musical de son environnement et cela seulement quelques jours après la naissance (Partanen *et al.*, 2013 ; Pihko *et al.*, 2004 ; Sambeth *et al.*, 2006 ; 2008 ; 2009 ; Virtala *et al.*, 2013). Ainsi, l'électroencéphalographie (EEG) a été utilisée pour montrer que le cerveau du nouveau-né détecte des changements de hauteurs dans de courtes séquences de sons qui montent ou qui descendent (Háden *et al.*, 2016). Le nouveau-né est également sensible aux caractéristiques temporelles des mélodies, puisqu'il perçoit bien la pulsation et la métrique musicales, qui se trouvent reflétées dans l'activité cérébrale (Háden *et al.*, 2015 ; Stefanics *et al.*, 2007 ; Winkler *et al.*, 2009).

Dès le deuxième mois de vie, le tout-petit va pouvoir non seulement mémoriser de nouvelles mélodies après seulement 2 minutes d'exposition, mais aussi les distinguer d'autres mélodies très similaires (Plantinga et Trainor, 2009). Plusieurs études ont également montré qu'entre 5 et 10 mois, les bébés détectent des changements d'une seule note, ainsi que de l'ordre des notes, après

quelques écoutes d'une nouvelle mélodie (Trainor et Trehub, 1992 ; Trehub *et al.*, 1985). Ils reconnaissent également qu'une nouvelle mélodie a été transposée (Plantinga et Trainor, 2005 ; Trainor et Trehub, 1992). Par ailleurs, les bébés de moins de 6 mois perçoivent des modifications de hauteur dans des mélodies aussi bien issues du système musical dans lequel ils sont immergés que d'un système musical différent (Lynch *et al.*, 1990). Quant au développement de la perception du rythme, le nourrisson détecte des changements dans des structures rythmiques simples (Demany *et al.*, 1977), et il détecte également les changements de tempo dans une séquence régulière (Baruch et Drake, 1997), ainsi que des structures rythmiques complexes quasiment absentes du système musical dans lequel il est immergé jusqu'à ses 6 mois (Hannon et Trehub, 2005a ; 2005b). Tout comme pour le langage, sous l'influence de l'environnement musical et culturel environnant, le bébé va progressivement perdre leur sensibilité à ces différents paramètres jusqu'à n'être sensible qu'à la musique de son environnement et présenter peu à peu des caractéristiques perceptives similaires à celles d'un adulte (Hannon et Trainor, 2007 ; Soley et Hannon, 2010). Ainsi, jusqu'à 6 mois, les bébés ne semblent pas présenter de biais perceptif pour la musique de leur environnement maternel, et, alors que les adultes détectent plus facilement des changements dans des mélodies issues du système harmonique occidental (gammes majeures/mineures) que dans des mélodies issues d'un système harmonique différent (gammes javanaises), les nourrissons détectent aussi bien ces changements dans les deux systèmes harmoniques (Lynch et Eilers, 1992). Il apparaît donc tout à fait intéressant de constater que les changements perceptifs des différents paramètres musicaux mais aussi linguistiques suivent un développement précoce remarquablement comparable (Brandt *et al.*, 2012). L'immersion dans une culture linguistique et musicale donnée va ainsi modeler et accorder le cerveau à cet environnement, se traduisant par une perte de la sensibilité aux éléments et contrastes non pertinents, ainsi qu'une augmentation de la sensibilité aux contrastes pertinents présents dans leur langue et musique maternelles.

### **3. L'importance du chant et du “parlé-bébé” pour le développement du langage**

Lorsque l'on communique avec un nouveau-né ou un très jeune enfant, il est frappant de constater les changements que l'on opère dans la façon de leur parler. Le « parlé-bébé » (ou *infant-directed speech* en anglais, IDS) est typique d'une interaction avec un bébé et se caractérise par une plus grande musicalité que lorsque deux adultes se parlent entre eux (Trainor et Desjardins, 2002). En effet, l'IDS est un registre de parole ayant des caractéristiques acoustiques relativement musicales telles que des plus grandes variations de hauteur, des contours prosodiques exagérés, une plus grande intensité, des durées plus longues, un débit de paroles plus lent et des structures syntaxiques plus simples avec de nombreuses répétitions, caractéristiques également observées dans le chant pour le tout petit (Fernald, 1992 ; Papousek *et al.*, 1985). Si ce registre particulier peut sembler ridicule pour certains parents, il n'en demeure pas moins que les bébés le préfèrent à un registre utilisé entre adultes (Cooper et Aslin, 1990 ; Trainor, 1996 ; Trainor *et al.*, 1997) et qu'il possède de réelles fonctions développementales, tant au niveau de l'acquisition du langage que de la gestion des émotions ou du développement des relations sociales (Bainbridge *et al.*, 2020 ; Cirelli et Trehub, 2020 ; Corbeil *et al.*, 2016 ; Mehr *et al.*, 2016 ; Rock *et al.*, 1999 ; Trainor et Desjardins, 2002 ; Trehub *et al.*, 1997 ; Trehub et Trainor, 1998).

Concernant le rôle particulier du chant vis-à-vis des processus d'acquisition du langage, on sait que chanter à des bébés facilite la mémorisation et l'acquisition du langage, notamment en facilitant la perception des syllabes natives (Lebedeva et Kuhl, 2010), la discrimination de syllabes non natives (Falk *et al.*, 2021), mais aussi la segmentation de la parole continue (Thiessen *et al.*, 2005 ; Thiessen et Saffran, 2009). Afin de construire son lexique et même avant de produire ses premiers mots, les nourrissons doivent extraire les mots du signal continu de paroles et les mémoriser. En effet, même si les phrases d'un seul mot ne sont pas exceptionnelles, la plupart des mots auxquels ils sont exposés ne sont pas entendus de manière isolée (Brent et Siskind, 2001).

La segmentation de la parole continue est ainsi une étape cruciale de l'acquisition du langage, qui permet notamment de faciliter par la suite une meilleure lexicalisation basée sur l'association de ces formes auditives nouvellement segmentées (*i. e.*, ces nouveaux mots) à leur référent (Estes *et al.*, 2007 ; Hay *et al.*, 2011). Cette capacité de segmentation est d'autant plus importante qu'elle prédit les compétences linguistiques (mesurées par la taille du lexique productif et perceptif) à l'âge de 24 mois (Newman *et al.*, 2006 ; Singh *et al.*, 2012). De plus, cette compétence est souvent déficitaire chez les grands prématurés (Bosch, 2011). La première étude comportementale devenue très célèbre a montré que les bébés de 8 mois peuvent segmenter un flux continu de mots trisyllabiques après seulement 2 minutes d'exposition à un flux de syllabes, et cela grâce au seul calcul de la structure statistique des syllabes (Saffran *et al.*, 1996). En effet, l'information statistique au niveau syllabique est fondamentale puisque les syllabes qui se trouvent à l'intérieur des mots, et donc qui forment les *vrais mots* du langage, apparaissent plus souvent ensemble (et donc présentent une forte probabilité d'occurrence, une plus grande prédictibilité) que les syllabes se trouvant aux frontières des mots, à cheval entre deux mots (qui présentent, elles, une faible probabilité d'occurrence et donc une faible prédictibilité).

Sur la base d'une étude ayant montré l'apport de la structure mélodique contenue dans le chant sur la segmentation de la parole continue chez l'adulte (Schön *et al.*, 2008), l'équipe de néonatalogie de l'hôpital Sant Joan de Déu à Barcelone a étudié l'effet du chant sur la segmentation de la parole continue chez vingt-huit nouveau-nés de deux jours de vie (François *et al.*, 2017). Grâce à un protocole expérimental au cours duquel l'activité EEG des bébés endormis était enregistrée durant une courte phase d'apprentissage statistique, la réponse cérébrale directement liée au processus d'apprentissage a été mesurée. Plus spécifiquement, ont été comparées les dynamiques d'activation cérébrale dans une condition parlée et dans une condition chantée. Dans la condition parlée, toutes les syllabes avaient une hauteur tonale constante résultant en un signal continu et monotone de syllabes dans lequel le seul indice pour la segmentation était les probabilités transitionnelles entre syllabes adjacentes. Dans la condition chantée, chaque syllabe était chantée sur une hauteur tonale unique, formant un signal continu de mots trisyllabiques chantés. L'analyse de l'activité cérébrale pendant cette phase d'apprentissage a révélé que les dynamiques cérébrales au cours de l'exposition aux flux continus étaient différentes entre les deux conditions. S'en suivait une courte phase de test qui permettait de mesurer l'activité cérébrale liée à la détection d'erreurs de structure syllabiques reflétant donc plutôt le résultat de l'apprentissage. Les résultats montraient que l'activité cérébrale évoquée par ces erreurs de structure était plus ample dans la condition chantée que dans la condition parlée, suggérant que le cerveau des nouveau-nés était sensible aux changements dans la structure statistique uniquement dans la condition chantée. Ce résultat suggérait aussi que le chant permettait la formation de traces mnésiques suffisamment pérennes pour générer des attentes permettant la détection de violations de la structure syllabique des mots. Finalement, grâce au suivi longitudinal de treize bébés, il a été possible d'évaluer le lien entre l'activité cérébrale mesurée à deux jours de vie et une estimation

parentale de la taille du vocabulaire expressif à dix-huit mois (mesurée par l'échelle Mac Arthur-Bates, Communicative Development Inventory, MCDI). De manière intéressante, la réponse cérébrale évoquée par les erreurs de structure dans la condition chantée prédisait le niveau de vocabulaire expressif à 18 mois mesuré avec le MCDI. Ce constat est important puisqu'il suggère que les différences interindividuelles en termes de sensibilité cérébrale au chant à la naissance prédisent le développement linguistique plus tard au cours du développement. Naître trop tôt peut alors avoir de lourdes conséquences sur le développement des bébés. Ce constat, en parallèle avec l'observation de résultats prometteurs chez l'enfant dyslexique (Tillmann, dans cet ouvrage), a contribué à la mise en place de protocoles d'interventions précoces basés sur la musique et surtout le chant.

#### **4. Conséquences d'une naissance prématurée**

Les conséquences d'une naissance prématurée sur le développement neurocognitif sont multiples et s'accompagnent souvent d'altérations des fonctions linguistiques. On sait que 25 % à 30 % des grands prématurés présenteront un retard du développement linguistique entre 30 et 40 mois (Sansavini *et al.*, 2010). Même les prématurés modérés (32-36 SA) semblent présenter des scores neurodéveloppementaux plutôt bas à 2 ans (De Jong *et al.*, 2015 ; Shah *et al.*, 2016), ainsi qu'un risque important de retard scolaire à l'âge de 5 ans (Quigley *et al.*, 2012). Ainsi, une méta-analyse basée sur les résultats de seize études a montré que les prématurés présentent souvent des scores déficitaires au niveau des fonctions exécutives, de la mémoire verbale à court terme, de l'attention, et de la vitesse de traitement (Martínez-Nadal et Bosch, 2020). Ces retards développementaux sont souvent associés à des altérations cérébrales observables et quantifiables par neuro-imagerie chez l'adulte né prématuré (Allin *et al.*, 2011 ; Karolis *et al.*, 2017 ; Nam *et al.*, 2015 ; White *et al.*, 2014). Un grand nombre d'études menées chez différentes cohortes de prématurés à des âges différents au cours du développement rapportent un impact négatif de la prématurité tant sur les caractéristiques structurales du cerveau que sur son fonctionnement et ses patrons de connectivité entre aires cérébrales. Ainsi, le grand prématuré peut présenter des réductions de volume de l'hippocampe, du thalamus et de certaines aires corticales, ainsi que des altérations de la connectivité entre ces aires (Baldoli *et al.*, 2015 ; Ball *et al.*, 2012 ; Dubois *et al.*, 2008 ; 2010 ; 2012 ; Liu *et al.*, 2010 ; Mürner-Lavanchy *et al.*, 2014 ; Salvan *et al.*, 2017). En termes de perception auditive, plusieurs travaux ont montré des anomalies au niveau des potentiels évoqués auditifs (Bisiacchi *et al.*, 2009 ; Mento *et al.*, 2010 ; Mento et Bisiacchi, 2012 ; Suppiej *et al.*, 2010). Au niveau du langage, même si le grand prématuré semble présenter un traitement phonologique relativement fonctionnel dès la naissance (Mahmoudzadeh *et al.*, 2013 ; Mahmoudzadeh *et al.*, 2017), plusieurs travaux ont montré un déficit de traitement du langage reflété par des retards développementaux, notamment vis-à-vis des compétences de discrimination phonologique précoce, de segmentation de la parole continue, ou bien de perception des patrons rythmiques et prosodiques de la parole (Bartha-Doering *et al.*, 2019 ; Bosch, 2011 ; François *et al.*, 2021 ; Herold *et al.*, 2008 ; Peña *et al.*, 2010 ; 2012 ; Ragó *et al.*, 2014). Cependant, très peu de travaux ont été menés visant à comprendre quelle est la qualité de la perception et du traitement de la musique chez le prématuré.

Même s'il est indéniable de constater que le développement des unités de soins intensifs néonataux a largement contribué à améliorer la prise en charge et le soin des prématurés, il n'en demeure pas moins que ces unités sont connues pour leur haut niveau de bruit acoustique, qui peut



induire une situation de stress répété pour le bébé et peut avoir des conséquences négatives sur un cerveau encore immature (Lahav et Skoe, 2014 ; Wachman et Lahav, 2011). En effet, les pics sonores sont souvent intempestifs, de fréquence élevée (alarmes des scopes, des respirateurs, des pompes à perfusion, à alimentation...), l'environnement sonore pouvant atteindre des pics d'intensité de 90 dB. Or, au-delà de 77 dB, une stimulation auditive peut engendrer une douleur pour le nouveau-né prématuré, ainsi qu'un stress délétère à la qualité de son sommeil et par conséquent à son développement (Kuhn, 2012). Des efforts sont faits pour limiter les nuisances sonores et respecter un environnement calme même si le bébé ne peut pas évoluer dans un environnement totalement silencieux. Ainsi, la stimulation auditive en soin intensif néonatal doit être adaptée aux capacités du bébé, c'est-à-dire en favorisant ses phases d'éveil, avec une voix murmurée et une intensité comparable à celle de la voix parlée (40 dB). Il est également préconisé d'utiliser des sons graves ou des sons « bouche fermée » créant un phénomène de vibration qui peut rappeler au bébé les sensations vécues *in utero*. De façon générale, les stimulations cohérentes participent à la régulation sensorimotrice et physiologique, leur incohérence au contraire induit des réactions qui désorganisent le comportement. De plus, la séparation de l'enfant et des parents imposée par l'hospitalisation entrave la création des premiers liens, ce qui rend cette relation fragile et vulnérable. L'importance de l'implication des parents dans les services de néonatalogie est maintenant un fait bien établi, dont les effets bénéfiques sur le bien-être, le sommeil et le développement du bébé ont été démontrés (Charpak *et al.*, 2007 ; Feldman *et al.*, 2002 ; Tessier *et al.*, 1998), et diverses équipes ont étudié les bénéfices apportés par une stimulation musicale précoce sur les signes comportementaux et physiologiques vitaux ou sur le développement et le fonctionnement cérébral du prématuré par rapport aux soins standard. Partant du constat que naître trop tôt diminue nécessairement le temps passé à percevoir la voix de la mère filtrée *in utero*, plusieurs travaux ont tenté d'utiliser ce stimulus si particulier qu'est la voix de la mère, « en direct » ou enregistrée. C'est ainsi que la présentation d'enregistrements de la voix de la mère et des sons de battements de son cœur améliore la qualité de l'alimentation et la stabilité des fonctions cardio-respiratoires des prématurés, notamment en diminuant le nombre d'apnées, en stabilisant la qualité du sommeil, et en diminuant les épisodes de bradycardies (Doheny *et al.*, 2012 ; Filippa *et al.*, 2013 ; 2017 ; 2020 ; Loewy *et al.*, 2013 ; Panagiotidis et Lahav, 2010 ; Parga *et al.*, 2018).

Parallèlement à ces travaux montrant un bénéfice au niveau cardio-respiratoire et comportemental (Anderson et Patel, 2018), d'autres travaux se sont intéressés à l'effet de cette stimulation précoce, utilisant la voix de la mère, sur la structure et le fonctionnement cérébral. Webb et ses collaborateurs ont montré chez quarante bébés grands prématurés (25-32 SA) que l'écoute d'enregistrements de la voix de la mère filtrée, de telle manière à reproduire la perception *in utero* à raison de 3 heures par jour pendant un mois, induit une augmentation de l'épaisseur du cortex auditif (Webb *et al.*, 2015). Ce constat est intéressant, car on sait que chez l'adulte, l'épaisseur corticale du cortex auditif est associée aux compétences d'apprentissage d'une langue étrangère (Golestani *et al.*, 2007). Une autre étude menée par l'équipe de Hüppi dans le service de néonatalogie de l'hôpital universitaire de Genève a montré, grâce à l'IRMf, que l'écoute de la musique induit une meilleure connectivité cérébrale chez le grand prématuré (Lordier *et al.*, 2019). Plus précisément, trois groupes de bébés ont participé à l'étude : un groupe de prématurés de trente-trois SA exposé à huit minutes de musique calme à raison de cinq fois par semaine jusqu'à ce qu'ils atteignent quarante SA, ainsi que deux autres groupes sans intervention musicale (prématurés et nés à terme). Les auteurs ont analysé l'activité cérébrale en réponse à de courts extraits de la même musique utilisée dans le « groupe musique », à ces extraits musicaux accélérés et sujets à des transpositions de tonalités. Les résultats ont montré que lors de l'écoute des extraits

musicaux, la connectivité fonctionnelle entre le cortex auditif et les régions cérébrales impliquées dans le traitement du tempo et de la familiarité était observable et significative uniquement pour les prématurés ayant reçu la stimulation musicale. Ces résultats démontrent que la stimulation précoce au sein d'un service de néonatalogie peut induire des modifications fonctionnelles du cerveau prématuré. D'autres travaux issus de la même équipe ont aussi montré que ce type de stimulation musicale pouvait induire des modifications de la structure cérébrale (Sa de Almeida *et al.*, 2020).

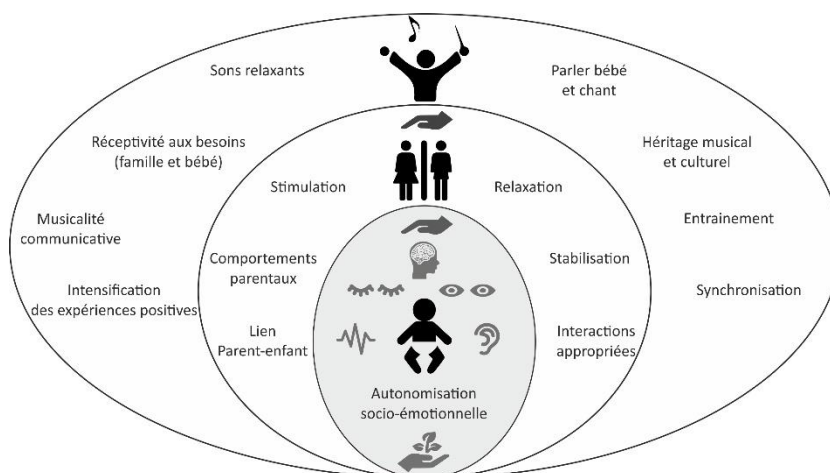
À nouveau, trois groupes de bébés ont participé à l'étude, soit un groupe de prématurés de trente-trois SA exposé à huit minutes de musique calme cinq fois par semaine jusqu'à ce qu'ils atteignent quarante SA, ainsi que deux autres groupes sans intervention musicale (prématurés et nés à terme). Grâce à différentes méthodes telles que l'imagerie par tenseur de diffusion et la morphométrie, ces auteurs ont pu étudier l'intégrité des faisceaux des fibres nerveuses connectant différentes aires cérébrales entre elles et les comparer entre les trois groupes. Ils ont observé que les prématurés du groupe ayant reçu l'intervention musicale présentaient une meilleure intégrité structurale que le groupe de prématurés sans intervention au niveau des radiations acoustiques (faisceaux de fibres connectant l'hypothalamus au cortex auditif primaire), du corps calleux (connectant les deux hémisphères entre eux) et du faisceau unciné (connectant le pôle temporal antérieur, l'hippocampe, et l'amygdale au cortex préfrontal et orbitofrontal, impliqué dans le traitement des aspects socio-émotionnels). Ces mesures ne différaient pas entre le groupe de prématurés ayant reçu l'intervention musicale et le groupe de nouveau-nés à terme. Par ailleurs, un même constat était observé pour le volume de l'amygdale, petite structure sous-corticale impliquée dans le traitement des émotions tant dans le langage que dans la musique : les prématurés du groupe ayant reçu l'intervention musicale présentaient un volume de l'amygdale plus important que le groupe de prématurés sans intervention.

Dans l'ensemble, ces résultats démontrent clairement que la stimulation musicale utilisée dans le contexte des unités de soins intensifs néonataux a un effet bénéfique sur le neurodéveloppement fonctionnel et structural chez les grands prématurés. De plus, si ces différentes études se sont plutôt focalisées sur les effets immédiats induits par cette stimulation musicale, une étude récente s'est intéressée à l'impact à plus long terme en suivant longitudinalement la même cohorte de prématurés. Les résultats de Lejeune et ses collaborateurs suggèrent que la stimulation musicale précoce reçue entre trente-trois et quarante SA améliore le traitement et la régulation émotionnelle face à un stimulus de peur à 12 et 24 mois (Lejeune *et al.*, 2019). Ce dernier résultat est particulièrement prometteur, car on sait aussi que la naissance prématurée est un facteur de risque important au regard du développement de troubles psychiatriques ou émotionnels (Johnson et Marlow, 2011).

Les études présentées ci-dessus concernaient exclusivement des protocoles d'intervention ou de stimulation basés sur la présentation de stimuli musicaux ou de la voix de la mère, filtrée ou non. D'autres travaux récents ont visé à utiliser la musique avec une approche plus créative, qui repose notamment sur une plus grande implication des parents. Ces études se sont basées sur une méthode développée à la fin des années 1970 par Nordoff, compositeur, et Robbin, éducateur spécialisé, devenus tous deux des pionniers de l'éducation musicale (Kim, 2004). Cette méthode spécialement développée pour les enfants souffrant de handicap implique une forte part d'improvisations de rythme et de chant, ainsi que des interactions adaptées en fonction des capacités de l'enfant, constamment modifiées en temps réel afin de maximiser les échanges entre l'intervenant (le parent) et l'enfant ([fig. 10.1](#)). Ainsi, Haslbeck et ses collaborateurs (2020) ont étudié l'effet de la thérapie musicale créative (*creative musical therapy*, CMT) chez quarante

grands prématurés (inférieur à trente-deux SA) du service de néonatalogie de l'hôpital universitaire de Zürich. Ils ont collecté des données relatives à la connectivité fonctionnelle et structurale du cerveau après quinze sessions de CMT et ont montré une amélioration de la connectivité fonctionnelle intrinsèque dans un large réseau frontotemporal (incluant les cortex auditifs primaire et secondaire, le cortex préfrontal, orbitofrontal, et l'aire motrice supplémentaires) connus pour son implication dans le traitement du rythme et des aspects émotionnels de la musique chez l'adulte (Koelsch, 2014; Olson *et al.*, 2007).

*Illustration des principales caractéristiques de la thérapie musicale créative (CMT) utilisée dans l'étude de Haslbeck et ses collaborateurs.*



L'utilisation de sons relaxants monocordes, de chant et du parler bébé permet d'induire une autonomisation socio-émotionnelle (adaptée de Haslbeck *et al.*, 2020).

## 5. Conclusion

De nombreuses données scientifiques révèlent l'intérêt d'utiliser la musique et le chant pour promouvoir le développement des compétences linguistiques précoces des petits enfants et pour l'amélioration de la prise en charge des enfants prématurés. Les mécanismes à la base de ces améliorations comportementales, physiologiques et cérébrales semblent être étroitement liés aux caractéristiques acoustiques et émotionnelles de la musique. Tout comme l'hypothèse OPERA, qui définit les conditions nécessaires sous-tendant les phénomènes de transfert d'apprentissage de la musique vers le langage (Patel, 2011), plusieurs caractéristiques de la musique seraient particulièrement importantes pour le développement précoce du nouveau-né prématuré (Anderson et Patel, 2018 ; Loewy et Jaschke, 2020). Ainsi, plusieurs facteurs sont particulièrement pertinents, tels que le caractère simple, répétitif et entraînant des pièces musicales (tant du point de vue moteur que cérébral), la familiarité avec la musique choisie, les timbres des instruments ou de la voix qui sont utilisés lors des stimulations. Aujourd'hui, les experts dans le domaine des soins intensifs néonataux semblent s'accorder sur une approche relativement minimaliste, dans laquelle le « moins (le simple) est mieux » (Loewy et Jaschke, 2020).

## 6. Bibliographie

- Allin, M. P. G., Kontis, D., Walshe, M., Wyatt, J., Barker, G. J., Kanaan, R. A. A., McGuire, P., Rifkin, L., Murray, R. M., & Nosarti, C. (2011). White matter and cognition in adults who were born preterm. *PLoS ONE*, *6*(10).
- Anderson, D. E., & Patel, A. D. (2018). Infants born preterm, stress, and neurodevelopment in the neonatal intensive care unit: might music have an impact? *Developmental Medicine and Child Neurology*, *60*(3), 256–266.
- Anderson, P. J., & Doyle, L. W. (2008). Cognitive and Educational Deficits in Children Born Extremely Preterm. In *Seminars in Perinatology* (Vol. 32, Issue 1, pp. 51–58).
- Bainbridge, C. M., Bertolo, M., Youngers, J., Atwood, S., Yurdum, L., Simson, J., Lopez, K., Xing, F., Martin, A., & Mehr, S. A. (2020). Infants relax in response to unfamiliar foreign lullabies. *Nature Human Behaviour*, *5*(2), 256–264.
- Baldoli, C., Scola, E., Della Rosa, P. A., Pontesilli, S., Longaretti, R., Poloniato, A., Scotti, R., Blasi, V., Cirillo, S., Iadanza, A., Rovelli, R., Barera, G., & Scifo, P. (2015). Maturation of preterm newborn brains: a fMRI–DTI study of auditory processing of linguistic stimuli and white matter development. *Brain Structure and Function*, *220*(6), 3733–3751.
- Ball, G., Boardman, J. P., Rueckert, D., Aljabar, P., Arichi, T., Merchant, N., Gousias, I. S., Edwards, A. D., & Counsell, S. J. (2012). The Effect of Preterm Birth on Thalamic and Cortical Development. *Cerebral Cortex*, *22*(5), 1016–1024.
- Bartha-Doering, L., Alexopoulos, J., Giordano, V., Stelzer, L., Kainz, T., Benavides-Varela, S., Wartenburger, I., Klebermass-Schrehof, K., Olischar, M., Seidl, R., & Berger, A. (2019). Absence of neural speech discrimination in preterm infants at term-equivalent age. *Developmental Cognitive Neuroscience*, *39*, 100679.
- Baruch, C., & Drake, C. (1997). Tempo discrimination in infants. *Infant Behavior and Development*, *20*(4), 573–577.
- Bertoncini, J., Bijeljac-Babic, R., Blumstein, S. E., & Mehler, J. (1987). Discrimination in neonates of very short CVs. *Journal of the Acoustical Society of America*, *82*(1), 31–37.
- Bhutta, A. T., Cleves, M. A., Casey, P. H., Cradock, M. M., & Anand, K. J. S. (2002). Cognitive and behavioral outcomes of school-aged children who were born preterm: A meta-analysis. In *Journal of the American Medical Association* (Vol. 288, Issue 6, pp. 728–737). American Medical Association.
- Bisiacchi, P. S., Mento, G., & Suppiej, A. (2009). Cortical auditory processing in preterm newborns: An ERP study. *Biological Psychology*, *82*(2), 176–185.
- Blencowe, H., Cousens, S., Oestergaard, M. Z., Chou, D., Moller, A. B., Narwal, R., Adler, A., Vera Garcia, C., Rohde, S., Say, L., & Lawn, J. E. (2012). National, regional, and worldwide estimates of preterm birth rates in the year 2010 with time trends since 1990 for selected countries: A systematic analysis and implications. *The Lancet*, *379*(9832), 2162–2172.
- Blondel, B., Lelong, N., Kermarrec, M., & Goffinet, F. (2012). La santé périnatale en France métropolitaine de 1995 à 2010. Résultats des enquêtes nationales périnatales. *Journal de Gynecologie Obstetrique et Biologie de La Reproduction*, *41*(2), 151–166.
- Blum, T., SALING, E., & BAUER, R. (1985). First magnetoencephalographic recordings of the brain activity of a human fetus. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*, *92*(12), 1224–1229.
- Bosch, L. (2011). Precursors to language in preterm infants. Speech perception abilities in the first year of life. In *Progress in Brain Research* (1st ed., Vol. 189). Elsevier BV.

- Brandt, A., Gebrian, M., & Slevc, L. R. (2012). Music and early language acquisition. *Frontiers in Psychology, 3*(SEP), 1–17.
- Brent, M. R., & Siskind, J. M. (2001). The role of exposure to isolated words in early vocabulary development. *Cognition, 81*(2), 33–44.
- Catani, M., & Bambini, V. (2014). A model for Social Communication And Language Evolution and Development (SCALED). *Current Opinion in Neurobiology, 28*, 165–171.
- Charpak, N., Gabriel Ruiz, J., Zupan, J., Cattaneo, A., Figueroa, Z., Tessier, R., Cristo, M., Anderson, G., Ludington, S., Mendoza, S., Mokhachane, M., & Worku, B. (2007). Kangaroo Mother Care: 25 years after. *Acta Paediatrica, 94*(5), 514–522.
- Cheour, M., Ceponiene, R., Lehtokoski, A., Luuk, A., Allik, J., Alho, K., Näätänen, R., Ahlo, K., & Naatanen, R. (1998). Development of language-specific phoneme representations in the infant brain. *Nature Neuroscience, 1*(5), 351–353.
- Cirelli, L. K., & Trehub, S. E. (2020). Familiar Songs Reduce Infant Distress. *Developmental Psychology, 56*, 861–868.
- Cooper, R. P., & Aslin, R. N. (1990). Preference for Infant-directed Speech in the First Month after Birth. *Child Development, 61*(5), 1584–1595.
- Corbeil, M., Trehub, S. E., & Peretz, I. (2016). Singing Delays the Onset of Infant Distress. *Infancy, 21*(3), 373–391.
- De Jong, M., Verhoeven, M., Lasham, C. A., Meijssen, C. B., & Van Baar, A. L. (2015). Behaviour and development in 24-month-old moderately preterm toddlers. *Archives of Disease in Childhood, 100*(6), 548–553.
- DeCasper, A. J., Lecanuet, J. P., Busnel, M. C., Granier-Deferre, C., & Maugeais, R. (1994). Fetal reactions to recurrent maternal speech. *Infant Behavior and Development, 17*(2), 159–164.
- DeCasper, A. J., & Spence, M. J. (1986). Prenatal maternal speech influences newborns' perception of speech sounds. *Infant Behavior and Development, 9*(2), 133–150.
- Dehaene-Lambertz, G. (2000). Cerebral Specialization for Speech and Non-Speech Stimuli in Infants. *Journal of Cognitive Neuroscience, 12*(3), 449–460.
- Dehaene-Lambertz, Ghislaine, Dehaene, S., Hertz-Pannier, L., & Dehaene-Lambertz, G. Dehaene, S., Hertz-Pannier, L. (2002). Functional Neuroimaging of Speech Perception in Infants. *Science, 298*(5600), 2013–2015.
- Demany, L., McKenzie, B., & Vurpillot, E. (1977). Rhythm perception in early infancy [19]. In *Nature* (Vol. 266, Issue 5604, pp. 718–719). Nature Publishing Group.
- Doheny, L., Hurwitz, S., Insoft, R., Ringer, S., & Lahav, A. (2012). Exposure to biological maternal sounds improves cardiorespiratory regulation in extremely preterm infants. *Journal of Maternal-Fetal and Neonatal Medicine, 25*(9), 1591–1594.
- Draganova, R., Eswaran, H., Murphy, P., Huotilainen, M., Lowery, C., & Preissl, H. (2005). Sound frequency change detection in fetuses and newborns, a magnetoencephalographic study. *NeuroImage, 28*(2), 354–361.
- Dubois, J., Benders, M., Cachia, A., Lazeyras, F., Ha-Vinh Leuchter, R., Sizonenko, S. V., Borradori-Tolsa, C., Mangin, J. F., & Hüppi, P. S. (2008). Mapping the early cortical folding process in the preterm newborn brain. *Cerebral Cortex, 18*(6), 1444–1454.
- Dubois, J., Benders, M., Lazeyras, F., Borradori-Tolsa, C., Leuchter, R. H. V., Mangin, J. F., & Hüppi, P. S. (2010). Structural asymmetries of perisylvian regions in the preterm newborn. *NeuroImage, 52*(1), 32–42.
- Dubois, J., Dehaene-Lambertz, G., Mangin, J. F., Le Bihan, D., Hüppi, P. S., & Hertz-Pannier, L. (2012). Neurophysiologie clinique: Développement cérébral du nourrisson et imagerie par

- résonance magnétique. *Neurophysiologie Clinique*, 42(1–2), 1–9.
- Eimas, P. D., Siqueland, E. R., Jusczyk, P., & Vigorito, J. (1971). Speech perception in infants. *Science*, 171(3968), 303–306.
- Estes, K. G., Evans, J. L., Alibali, M. W., & Saffran, J. R. (2007). Can infants map meaning to newly segmented words? Statistical segmentation and word learning. *Psychological Science*, 18(3), 254–260.
- Falk, S., Fasolo, M., Genovese, G., Romero-Lauro, L., & Franco, F. (2021). Sing for me, Mama! Infants' discrimination of novel vowels in song. *Infancy*, 26(2), 248–270.
- Feldman, R., Eidelman, A. I., Sirota, L., & Weller, A. (2002). Comparison of skin-to-skin (kangaroo) and traditional care: Parenting outcomes and preterm infant development. *Pediatrics*, 110(1 I), 16–26.
- Fernald, A. (1992). Human maternal vocalizations to infants as biologically relevant signals. In J. Barkow, L. Cosmides, & J. Tooby (Eds.), *The adapted mind: Evolutionary psychology and the generation of culture* (pp. 391–428). Oxford University Press.
- Filippa, M., Devouche, E., Arioni, C., Imberty, M., & Gratier, M. (2013). Live maternal speech and singing have beneficial effects on hospitalized preterm infants. *Acta Paediatrica, International Journal of Paediatrics*, 102(10), 1017–1020.
- Filippa, M., Lordier, L., De Almeida, J. S., Monaci, M. G., Adam-Darque, A., Grandjean, D., Kuhn, P., & Hüppi, P. S. (2020). Early vocal contact and music in the NICU: new insights into preventive interventions. In *Pediatric Research* (Vol. 87, Issue 2, pp. 249–264). Springer Nature.
- Filippa, M., Panza, C., Ferrari, F., Frassoldati, R., Kuhn, P., Balduzzi, S., & D'Amico, R. (2017). Systematic review of maternal voice interventions demonstrates increased stability in preterm infants. *Acta Paediatrica*, 106(8), 1220–1229.
- Floccia, C., Nazzi, T., & Bertoni, J. (2000). Unfamiliar voice discrimination for short stimuli in newborns. *Developmental Science*, 3(3), 333–343.
- François, C., Rodriguez-Fornells, A., Teixidó, M., Agut, T., & Bosch, L. (2021). Attenuated brain responses to speech sounds in moderate preterm infants at term age. *Developmental Science*, 24(1).
- François, C., Teixidó, M., Takerkart, S., Agut, T., Bosch, L., & Rodriguez-Fornells, A. (2017). Enhanced Neonatal Brain Responses to Sung Streams Predict Vocabulary Outcomes by Age 18 Months. *Scientific Reports*, 7(1).
- Golestani, N., Molko, N., Dehaene, S., LeBihan, D., & Pallier, C. (2007). Brain structure predicts the learning of foreign speech sounds. *Cerebral Cortex*, 17(3), 575–582.
- Granier-Deferre, C., Ribeiro, A., Jacquet, A. Y., & Bassereau, S. (2011). Near-term fetuses process temporal features of speech. *Developmental Science*, 14(2), 336–352.
- Griffiths, S. K., Brown, W. S., Gerhardt, K. J., Abrams, R. M., & Morris, R. J. (1994). The perception of speech sounds recorded within the uterus of a pregnant sheep. *Journal of the Acoustical Society of America*, 96(4), 2055–2063.
- Háden, G. P., Honing, H., Török, M., & Winkler, I. (2015). Detecting the temporal structure of sound sequences in newborn infants. *International Journal of Psychophysiology*, 96(1), 23–28.
- Háden, G. P., Németh, R., Török, M., & Winkler, I. (2016). Mismatch response (MMR) in neonates: Beyond refractoriness. *Biological Psychology*, 117, 26–31.
- Hannon, E. E., & Trainor, L. J. (2007). Music acquisition: effects of enculturation and formal training on development. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(11), 466–472.

- Hannon, E. E., & Trehub, S. E. (2005a). Metrical Categories in Infancy and Adulthood. *Psychological Science*, *16*(1), 48–55.
- Hannon, E. E., & Trehub, S. E. (2005b). Tuning in to musical rhythms: Infants learn more readily than adults. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *102*(35), 12639–12643.
- Haslbeck, F. B., Jakab, A., Held, U., Bassler, D., Bucher, H. U., et Hagmann, C. (2020). Creative music therapy to promote brain function and brain structure in preterm infants: A randomized controlled pilot study. *NeuroImage: Clinical*, *25*, 102171.
- Hay, J. F., Pelucchi, B., Estes, K. G., & Saffran, J. R. (2011). Linking sounds to meanings: Infant statistical learning in a natural language. *Cognitive Psychology*, *63*(2), 93–106.
- Herold, B., Höhle, B., Walch, E., Weber, T., & Obladen, M. (2008). Impaired word stress pattern discrimination in very-low-birthweight infants during the first 6 months of life. *Developmental Medicine and Child Neurology*, *50*(9), 678–683.
- Holst, M., Eswaran, H., Lowery, C., Murphy, P., Norton, J., & Preissl, H. (2005). Development of auditory evoked fields in human fetuses and newborns: A longitudinal MEG study. *Clinical Neurophysiology*, *116*(8), 1949–1955.
- Huotilainen, M., Kujala, A., Hotakainen, M., Parkkonen, L., Taulu, S., Simola, J., Nenonen, J., Karjalainen, M., & Näätänen, R. (2005). Short-term memory functions of the human fetus recorded with magnetoencephalography. *NeuroReport*, *16*(1), 81–84.
- Johnson, S., & Marlow, N. (2011). Preterm birth and childhood psychiatric disorders. *Pediatric Research*, *69*(5 PART 2), 11–18.
- Jusczyk, P. W., Cutler, A., & Redanz, N. J. (1993). Infants' Preference for the Predominant Stress Patterns of English Words. *Child Development*, *64*(3), 675–687.
- Kanold, P. O., & Luhmann, H. J. (2010). The Subplate and Early Cortical Circuits. *Annual Review of Neuroscience*, *33*(1), 23–48.
- Karolis, V. R., Froudust-Walsh, S., Kroll, J., Brittain, P. J., Tseng, C. E. J., Nam, K. W., Reinders, A. A. T. S., Murray, R. M., Williams, S. C. R., Thompson, P. M., & Nosarti, C. (2017). Volumetric grey matter alterations in adolescents and adults born very preterm suggest accelerated brain maturation. *NeuroImage*, *163*, 379–389.
- Kim, Y. (2004). The Early Beginnings of Nordoff-Robbins Music Therapy. *Journal of Music Therapy*, *41*(4), 321–339.
- Koelsch, S. (2014). Brain correlates of music-evoked emotions. In *Nature Reviews Neuroscience* (Vol. 15, Issue 3, pp. 170–180). Nature Publishing Group.
- Kostovic, I. (2002). Laminar Organization of the Human Fetal Cerebrum Revealed by Histochemical Markers and Magnetic Resonance Imaging. *Cerebral Cortex*, *12*(5), 536–544.
- Kostović, I., & Jovanov-Milošević, N. (2006). The development of cerebral connections during the first 20-45 weeks' gestation. *Seminars in Fetal and Neonatal Medicine*, *11*(6), 415–422.
- Kuhl, P. K. (2004). Early language acquisition: cracking the speech code. *Nature Reviews Neuroscience*, *5*(11), 831–843.
- Kuhl, P. K., Stevens, E., Hayashi, A., Deguchi, T., Kiritani, S., & Iverson, P. (2006). Infants show a facilitation effect for native language phonetic perception between 6 and 12 months. *Developmental science*, *9*(2), F13-F21.
- Kuhn, P. (2012). *Etude de la sensibilité auditive du nouveau-né grand prématuré aux stimulations sonores issues de son environnement*. Université de Strasbourg.
- Lahav, A., & Skoe, E. (2014). An acoustic gap between the NICU and womb: A potential risk for compromised neuroplasticity of the auditory system in preterm infants. *Frontiers in*

- Neuroscience*, 8(DEC), 381.
- Lebedeva, G. C., & Kuhl, P. K. (2010). Sing that tune: Infants' perception of melody and lyrics and the facilitation of phonetic recognition in songs. *Infant Behavior and Development*, 33(4), 419–430.
- Lecanuet, J. P., Granier-Deferre, C., & Busnel, M. C. (1988). Fetal cardiac and motor responses to octave-band noises as a function of central frequency, intensity and heart rate variability. *Early Human Development*, 18(2–3), 81–93.
- Lecanuet, J. P., Granier-Deferre, C., Jacquet, A.-Y., & Decasper, A. J. (2000). Fetal Discrimination of Low-Pitched Musical Notes. In *Dev Psychobiol* (Vol. 36). John Wiley & Sons, Inc.
- Lejeune, F., Lordier, L., Pittet, M. P., Schoenhals, L., Grandjean, D., Hüppi, P. S., Filippa, M., & Tolsa, C. B. (2019). Effects of an early postnatal music intervention on cognitive and emotional development in preterm children at 12 and 24 months: Preliminary findings. *Frontiers in Psychology*, 10(MAR).
- Liu, Y., Balériaux, D., Kavec, M., Metens, T., Absil, J., Denolin, V., Pardou, A., Avni, F., Van Bogaert, P., & Aeby, A. (2010). Structural asymmetries in motor and language networks in a population of healthy preterm neonates at term equivalent age: A diffusion tensor imaging and probabilistic tractography study. *NeuroImage*, 51(2), 783–788.
- Loewy, J., Stewart, K., Dassler, A.-M., Telsey, A., & Homel, P. (2013). The Effects of Music Therapy on Vital Signs, Feeding, and Sleep in Premature Infants. *Pediatrics*, 131(5), 902–918.
- Loewy, Joanne, & Jaschke, A. C. (2020). Mechanisms of Timing, Timbre, Repertoire, and Entrainment in Neuroplasticity: Mutual Interplay in Neonatal Development. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 14.
- Lordier, L., Loukas, S., Grouiller, F., Vollenweider, A., Vasung, L., Meskaldij, D. E., Lejeune, F., Pittet, M. P., Borradori-Tolsa, C., Lazeyras, F., Grandjean, D., Van De Ville, D., & Hüppi, P. S. (2019). Music processing in preterm and full-term newborns: A psychophysiological interaction (PPI) approach in neonatal fMRI. *NeuroImage*, 185, 857–864.
- Lynch, M. P., Eilers, R. E., Oller, D. K., et Urbano, R. C. (1990). Innateness, experience, and music perception. *Psychological Science*, 1(4), 272–276.
- Lynch, M. P., & Eilers, R. E. (1992). A study of perceptual development for musical tuning. *Perception & Psychophysics*, 52(6), 599–608.
- Mahmoudzadeh, M., Dehaene-Lambertz, G., Fournier, M., Kongolo, G., Goudjil, S., Dubois, J., Grebe, R., & Wallois, F. (2013). Syllabic discrimination in premature human infants prior to complete formation of cortical layers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(12), 4846–4851.
- Mahmoudzadeh, M., Wallois, F., Kongolo, G., Goudjil, S., & Dehaene-Lambertz, G. (2017). Functional maps at the onset of auditory inputs in very early preterm human neonates. *Cerebral Cortex*, 27(4), 2500–2512.
- Martínez-Nadal, S., & Bosch, L. (2020). Cognitive and Learning Outcomes in Late Preterm Infants at School Age: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(1), 74.
- Mehr, S. A., Song, L. A., & Spelke, E. S. (2016). For 5-Month-Old Infants, Melodies Are Social. *Psychological Science*, 27(4), 486–501.
- Ment, L. R., & Vohr, B. R. (2008). Preterm birth and the developing brain. *The Lancet Neurology*, 7(May), 378–379.



- Mento, G., & Bisiacchi, P. S. (2012). Neurocognitive development in preterm infants: Insights from different approaches. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *36*(1), 536–555.
- Mento, G., Suppiej, A., Altoè, G., & Bisiacchi, P. S. (2010). Functional hemispheric asymmetries in humans: Electrophysiological evidence from preterm infants. *European Journal of Neuroscience*, *31*(3), 565–574.
- Moon, C., Bever, T. G., & Fifer, W. P. (1992). Canonical And Non Canonical Syllable Discrimination By Two-Day-Old Infants. *Journal of Child Language*, *19*(1), 1–17.
- Moon, C., Cooper, R. P., & Fifer, W. P. (1993). Two-day-olds prefer their native language. *Infant Behavior and Development*, *16*(4), 495–500.
- Mürner-Lavanchy, I., Steinlin, M., Kiefer, C., Weisstanner, C., Ritter, B. C., Perrig, W., & Everts, R. (2014). Delayed development of neural language organization in very preterm born children. *Developmental Neuropsychology*, *39*(7), 529–542.
- Näätänen, R., Jacobsen, T., & Winkler, I. (2005). Memory-based or afferent processes in mismatch negativity (MMN): A review of the evidence. *Psychophysiology*, *42*(1), 25–32.
- Nam, K. W., Castellanos, N., Simmons, A., Froudust-Walsh, S., Allin, M. P., Walshe, M., Murray, R. M., Evans, A., Muehlboeck, J. S., & Nosarti, C. (2015). Alterations in cortical thickness development in preterm-born individuals: Implications for high-order cognitive functions. *NeuroImage*, *115*, 64–75.
- Nazzi, T., Floccia, C., & Bertoni, J. (1998). Discrimination of pitch contours by neonates. *Infant Behavior and Development*, *21*(4), 779–784.
- Nazzi, T., Jusczyk, P. W., & Johnson, E. K. (2000). Language discrimination by english-learning 5-month-olds: Effects of rhythm and familiarity. *Journal of Memory and Language*, *43*(1), 1–19.
- Nazzi, T., & Ramus, F. (2003). Perception and acquisition of linguistic rhythm by infants. *Speech Communication*, *41*(1), 233–243.
- Newman, R., Ratner, N. B., Jusczyk, A. M., Jusczyk, P. W., & Dow, K. A. (2006). Infants' early ability to segment the conversational speech signal predicts later language development: A retrospective analysis. *Developmental Psychology*, *42*(4), 643–655.
- Olson, I. R., Plotzker, A., & Ezzyat, Y. (2007). The Enigmatic temporal pole: A review of findings on social and emotional processing. In *Brain* (Vol. 130, Issue 7, pp. 1718–1731). Oxford University Press.
- Panagiotidis, J., & Lahav, A. (2010). Simulation of prenatal maternal sounds in NICU incubators: A pilot safety and feasibility study. *Journal of Maternal-Fetal and Neonatal Medicine*, *23*(SUPPL. 3), 106–109.
- Papousek, M., Papousek, H., & Bornstein, M. (1985). The naturalistic vocal environment of young infants: On the significance of homogeneity and variability in parental speech. In T. Field & N. Fox (Eds.), *Social perception in infants* (pp. 269–297).
- Parga, J. J., Bhatt, R. R., Kesavan, K., Sim, M. S., Karp, H. N., Harper, R. M., & Zeltzer, L. (2018). A prospective observational cohort study of exposure to womb-like sounds to stabilize breathing and cardiovascular patterns in preterm neonates. *Journal of Maternal-Fetal and Neonatal Medicine*, *31*(17), 2245–2251.
- Partanen, E., Kujala, T., Naatanen, R., Liitola, A., Sambeth, A., & Huotilainen, M. (2013). Learning-induced neural plasticity of speech processing before birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *110*(37), 15145–15150.
- Partanen, E., Kujala, T., Tervaniemi, M., & Huotilainen, M. (2013). Prenatal music exposure induces long-term neural effects. *PLoS ONE*, *8*(10).

- Patel, A. D. (2011). Why would musical training benefit the neural encoding of speech? The OPERA hypothesis. *Frontiers in Psychology*, 2(JUN), 1–14.
- Pena, M., Pittaluga, E., & Mehler, J. (2010). Language acquisition in premature and full-term infants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(8), 3823–3828.
- Pena, M., Werker, J. F., & Dehaene-Lambertz, G. (2012). Earlier Speech Exposure Does Not Accelerate Speech Acquisition. *Journal of Neuroscience*, 32(33), 11159–11163.
- Perani, D., Saccuman, M. C., Scifo, P., Anwander, A., Spada, D., Baldoli, C., Poloniato, A., Lohmann, G., & Friederici, A. D. (2011). Neural language networks at birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(38), 16056–16061.
- Perani, D., Saccuman, M. C., Scifo, P., Spada, D., Andreolli, G., Rovelli, R., Baldoli, C., & Koelsch, S. (2010). Functional specializations for music processing in the human newborn brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(10), 4758–4763.
- Pihko, E., Sambeth, A., Leppänen, P. H. T., Okada, Y., & Lauronen, L. (2004). Auditory evoked magnetic fields to speech stimuli in newborns - Effect of sleep stages. *Neurology and Clinical Neurophysiology*, 2004, 337–346.
- Plantinga, J., & Trainor, L. J. (2005). Memory for melody: Infants use a relative pitch code. *Cognition*, 98(1), 1–11.
- Plantinga, J., & Trainor, L. J. (2009). Melody recognition by two-month-old infants. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 125(2), EL58–EL62.
- Polka, L., & Werker, J. F. (1994). Developmental Changes in Perception of Nonnative Vowel Contrasts. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20(2), 421–435.
- Quigley, M. A., Poulsen, G., Boyle, E., Wolke, D., Field, D., Alfirevic, Z., & Kurinczuk, J. J. (2012). Early term and late preterm birth are associated with poorer school performance at age 5 years: A cohort study. *Archives of Disease in Childhood: Fetal and Neonatal Edition*, 97(3), F167–F173.
- Ragó, A., Honbolygó, F., Róna, Z., Beke, A., & Csépe, V. (2014). Effect of maturation on suprasegmental speech processing in full- and preterm infants: A mismatch negativity study. *Research in Developmental Disabilities*, 35(1), 192–202.
- Rivera-Gaxiola, M., Silva-Pereyra, J., & Kuhl, P. K. (2005). Brain potentials to native and non-native speech contrasts in 7- and 11 -month-old American infants. *Developmental Science*, 8(2), 162–172.
- Rock, A. M., Trainor, L. J., & Addison, T. L. (1999). Distinctive messages in infant-directed lullabies and play songs. *Developmental Psychology*, 35(2), 527–534.
- Sa de Almeida, J., Lordier, L., Zollinger, B., Kunz, N., Bastiani, M., Gui, L., Adam-Darque, A., Borradori-Tolsa, C., Lazeyras, F., & Hüppi, P. S. (2020). Music enhances structural maturation of emotional processing neural pathways in very preterm infants. *NeuroImage*, 207, 116391.
- Saffran, J. R., Aslin, R. N., & Newport, E. L. (1996). Statistical learning by 8-month-old infants. *Science*, 274(5294), 1926–1928.
- Salvan, P., Tournier, J. D., Bataille, D., Falconer, S., Chew, A., Kennea, N., Aljabar, P., Dehaene-Lambertz, G., Arichi, T., Edwards, A. D., & Counsell, S. J. (2017). Language ability in preterm children is associated with arcuate fasciculi microstructure at term. *Human Brain Mapping*, 38(8), 3836–3847.
- Sambeth, A., Huotilainen, M., Kushnerenko, E., Fellman, V., & Pihko, E. (2006). Newborns discriminate novel from harmonic sounds: A study using magnetoencephalography. *Clinical*

- Neurophysiology*, 117(3), 496–503.
- Sambeth, A., Pakarinen, S., Ruohio, K., Fellman, V., van Zuijen, T. L., & Huotilainen, M. (2009). Change detection in newborns using a multiple deviant paradigm: A study using magnetoencephalography. *Clinical Neurophysiology*, 120(3), 530–538.
- Sambeth, A., Ruohio, K., Alku, P., Fellman, V., & Huotilainen, M. (2008). Sleeping newborns extract prosody from continuous speech. *Clinical Neurophysiology*, 119(2), 332–341.
- Sansavini, A., Bertoncini, J., & Giovanelli, G. (1997a). Newborns discriminate the rhythm of multisyllabic stressed words. *Developmental Psychology*, 33(1), 3–11.
- Sansavini, A., Bertoncini, J., & Giovanelli, G. (1997b). Newborns discriminate the rhythm of multisyllabic stressed words. *Developmental Psychology*, 33(1), 3–11.
- Sansavini, A., Guarini, A., Justice, L. M., Savini, S., Broccoli, S., Alessandrini, R., & Faldella, G. (2010). Does preterm birth increase a child's risk for language impairment? *Early Human Development*, 86(12), 765–772.
- Schön, D., Boyer, M., Moreno, S., Besson, M., Peretz, I., & Kolinsky, R. (2008). Songs as an aid for language acquisition. *Cognition*, 106(2), 975–983.
- Shah, P., Kaciroti, N., Richards, B., Oh, W., & Lumeng, J. C. (2016). Developmental outcomes of late preterm infants from infancy to kindergarten. *Pediatrics*, 138(2).
- Singh, L., Steven Reznick, J., & Xuehua, L. (2012). Infant word segmentation and childhood vocabulary development: A longitudinal analysis. *Developmental Science*, 15(4), 482–495.
- Soley, G., & Hannon, E. E. (2010). Infants Prefer the Musical Meter of Their Own Culture: A Cross-Cultural Comparison. *Developmental Psychology*, 46(1), 286–292.
- Stefanics, G., Háden, G., Huotilainen, M., Balázs, L., Sziller, I., Beke, A., Fellman, V., & Winkler, I. (2007). Auditory temporal grouping in newborn infants. *Psychophysiology*, 44(5), 697–702.
- Suppiej, A., Mento, G., Zanardo, V., Franzoi, M., Battistella, P. A., Ermani, M., & Bisiacchi, P. S. (2010). Auditory processing during sleep in preterm infants: An event related potential study. *Early Human Development*, 86(12), 807–812.
- Tessier, R., Cristo, M., Velez, S., Giron, M., de Calume, Z. F., Ruiz-Palaez, J. G., Charpak, Y., & Charpak, N. (1998). Kangaroo mother care and the bonding hypothesis. *Pediatrics*, 102(2), e17–e17.
- Thiessen, E. D., Hill, E. A., & Saffran, J. R. (2005). Infant-Directed Speech Facilitates Word Segmentation. *Infancy*, 7(1), 53–71.
- Thiessen, E. D., & Saffran, J. R. (2009). How the melody facilitates the message and vice versa in infant learning and memory. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169, 225–233.
- Trainor, L. J. (1996). Infant preferences for infant-directed versus noninfant-directed playsongs and lullabies. *Infant Behavior and Development*, 19(1), 83–92.
- Trainor, L. J., Clark, E. D., Huntley, A., & Adams, B. A. (1997). The acoustic basis of preferences for infant-directed singing. *Infant Behavior and Development*, 20(3), 383–396.
- Trainor, L. J., & Desjardins, R. N. (2002). Pitch characteristics of infant-directed speech affect infants' ability to discriminate vowels. *Psychonomic Bulletin and Review*, 9(2), 335–340.
- Trainor, L. J., & Trehub, S. E. (1992). A Comparison of Infants' and Adults' Sensitivity to Western Musical Structure. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18(2), 394–402.
- Trehub, S. E., Unyk, A. M., Kamenetsky, S. B., Hill, D. S., Trainor, L. J., Henderson, J. L., & Saraza, M. (1997). Mothers' and fathers' singing to infants. *Developmental Psychology*, 33(3), 500–507.

- Trehub, S., & Trainor, L. (1998). Singing to infants: Lullabies and play songs. In *Advances in infancy research* (Vol. 12, pp. 43–77).
- Trehub, Sandra E., Thorpe, L. A., & Morrongiello, B. A. (1985). Infants' perception of melodies: Changes in a single tone. *Infant Behavior and Development*, 8(2), 213–223.
- Virtala, P., Huotilainen, M., Partanen, E., Fellman, V., & Tervaniemi, M. (2013). Newborn infants' auditory system is sensitive to Western music chord categories. *Frontiers in Psychology*, 4(AUG), 492.
- Wachman, E. M., & Lahav, A. (2011). The effects of noise on preterm infants in the NICU. In *Archives of Disease in Childhood: Fetal and Neonatal Edition* (Vol. 96, Issue 4, pp. F305–F309). BMJ Publishing Group.
- Webb, A. R., Heller, H. T., Benson, C. B., & Lahav, A. (2015). Mother's voice and heartbeat sounds elicit auditory plasticity in the human brain before full gestation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(10), 3152–3157.
- Werker, J. F., & Tees, R. C. (2002). Cross-language speech perception: Evidence for perceptual reorganization during the first year of life. *Infant Behavior and Development*, 25(1), 121–133.
- Werker, J. F., Yeung, H. H., & Yoshida, K. A. (2012). How Do Infants Become Experts at Native-Speech Perception? *Current Directions in Psychological Science*, 21(4), 221–226.
- White, T. P., Symington, I., Castellanos, N. P., Brittain, P. J., Froudish Walsh, S., Nam, K.-W., Sato, J. R., Allin, M. P. G., Shergill, S. S., Murray, R. M., Williams, S. C. R., & Nosarti, C. (2014). Dysconnectivity of neurocognitive networks at rest in very-preterm born adults. *NeuroImage: Clinical*, 4, 352–365.
- WHO | Born too soon. (2019). WHO. [http://www.who.int/maternal\\_child\\_adolescent/documents/born\\_too\\_soon/en/](http://www.who.int/maternal_child_adolescent/documents/born_too_soon/en/)
- Winkler, I., Haden, G. P., Ladinig, O., Sziller, I., & Honing, H. (2009). Newborn infants detect the beat in music. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(7), 2468–2471.