

Isabelle Peretz

LE CERVEAU MUSICAL

En guise d'introduction, considérons deux observations issues de la clinique neurologique. La première concerne un compositeur professionnel, Vissarion Chébaline. Celui-ci, à l'âge de cinquante-sept ans, est atteint d'une hémorragie cérébrale brutale qui survient dans la partie gauche de son cerveau. Cet accident vasculaire le rend désormais incapable de communiquer verbalement. Il ne comprend plus la moindre question ; il ne peut plus s'exprimer de façon intelligible. Chébaline souffre d'aphasie sévère. "Tentant de définir ce qu'est un oratorio, Chébaline prononcera les bribes suivantes : «Un oratorio est descendu... c'était il y a longtemps... c'est une sorte de spiritual... oh... graduellement, il devenait... il se développait... et puis... et maintenant... ah... ça devient très différent... comment pourrais-je dire... je dois me souvenir... oh... rien... j'ai des pensées... non... c'est trop difficile...»" (Luria *et al.*, 1965, p. 290, trad. de l'auteur.) Il continuera néanmoins à exercer sa profession jusqu'à sa mort qui surviendra quatre années plus tard. Pendant ces quatre années d'aphasie, il travaille assidûment avec ses élèves, en écoutant et corrigeant leurs compositions ; il compose quatorze chorals, deux sonates, deux quatuors, onze chansons et une symphonie. Selon ses pairs, sa musique ne se distingue pas de celle qu'il composait avant son aphasie. "Chostakovitch qualifie la cinquième symphonie de Chébaline «d'œuvre créative brillante, remplie d'émotions les plus élevées, optimiste et pleine de vie. Cette symphonie composée durant sa maladie est une création d'un grand maître.»" (*Ibid.*, p. 292.) L'histoire de Chébaline, devenu musicien sans langage suite à un accident cérébral, caractérise une condition neurologique connue sous le vocable d'"aphasie sans amusie". Cette condition est spectaculaire mais pas exceptionnelle. Plusieurs histoires similaires ont été rapportées par la suite dans la littérature (Assal, 1973 ; Basso et Capitani, 1985 ; Signoret *et al.*, 1987).

La seconde observation issue de la clinique neurologique est complémentaire à celle de Chébaline ; elle concerne une femme ordinaire,

et donc dépourvue de talents musicaux ou linguistiques. Cette dame, que nous appellerons par son prénom, Isabelle, était gérante de restaurant quand, à l'âge de vingt-huit ans, commence pour elle une série tragique d'opérations chirurgicales au cerveau. Elle en subira trois. La première dans la partie gauche de son cerveau pour endiguer l'hémorragie créée par la rupture d'un anévrisme, la deuxième au même endroit pour réduire une infection secondaire suite à la première intervention, et enfin une troisième intervention dans la région homologue du côté droit pour ligaturer un anévrisme qui menaçait de se rompre. L'image du cerveau d'Isabelle révèle deux vastes lésions cérébrales, l'une dans l'hémisphère cérébral gauche et l'autre dans l'hémisphère droit. Dans ce contexte neurologique, on est un peu surpris de constater qu'Isabelle n'a rien perdu de ses compétences linguistiques.

Dix ans après ses trépanations, au moment où nous l'étudions, Isabelle rédige un poème à l'intention de son conjoint, dont nous repreneons ici deux strophes :

*Ecoute-moi, s'il te plaît, j'ai besoin de parler
Accorde-moi seulement quelques instants
Accepte ce que je vis, ce que je sens
Sans réticence, sans jugement.*

*Ecoute-moi, s'il te plaît, j'ai besoin de parler
Ne m'interromps pas et n'essaie pas d'analyser
N'essaie pas de forcer mon domaine caché
Je sais jusqu'où je veux et je peux aller.*

(Poème publié dans son intégralité dans Peretz et al., 1997.)

Non seulement, Isabelle communique verbalement avec humour et aisance (mis à part un léger trouble de l'articulation), mais elle jouit d'une autonomie intellectuelle et sociale normale. Son problème, c'est la musique. Isabelle se plaint de ne plus saisir la musique comme par le passé. Il faut préciser qu'Isabelle a grandi dans un milieu mélomane qui a fait de son frère un chef d'orchestre de variété ; Isabelle, en revanche, a été peu assidue dans ses activités musicales lorsqu'elle était enfant. Néanmoins, comme elle nous le dira souvent, la musique a toujours occupé une place importante dans sa vie. Ainsi, pour elle, une perte musicale représente un handicap. De fait, Isabelle ne peut plus reconnaître ni reproduire le moindre air qui lui était familier avant ses interventions au cerveau. Elle ne peut plus en fait conserver en mémoire la trace de ce qu'elle vient juste d'entendre, la rendant ainsi incapable de discriminer et juger la plupart des caractéristiques musicales que tout auditeur ordinaire perçoit sans la moindre difficulté. Il s'agit d'un cas d'"amusie sans aphasie". Cette condition neurologique est décrite depuis plus d'un siècle, mais elle est

rarement étudiée scientifiquement. Cette lacune a été remplie récemment, et trois autres cas semblables ont été documentés (Peretz *et al.*, 1994 ; Griffith *et al.*, 1997).

Que faut-il conclure de ces deux observations issues de la clinique ? La réponse est qu'il semble bien exister un cerveau musical. Ce cerveau musical serait épargné sélectivement chez Chébaline, probablement parce que les circuits cérébraux qui président aux activités musicales sont demeurés intacts après l'accident cérébral. Inversement, le cerveau musical serait entamé, tout aussi sélectivement, chez Isabelle parce que celui-ci réside dans des régions cérébrales rendues dysfonctionnelles par les hémorragies et chirurgies cérébrales que le cerveau d'Isabelle a connues.

Cette première démonstration tirée de la clinique neurologique suscite de nombreuses interrogations. D'abord, le lecteur non familier avec la discipline se demandera si une telle spécialisation du cerveau est un phénomène unique à la musique. Cet aspect sera traité dans les deux premières sections. Ensuite, nous verrons *où* pourrait se loger cette faculté musicale dans le cerveau et *comment* aborder cette question épineuse de localisation cérébrale.

1. Spécialisation ou modularité du cerveau

La principale leçon à tirer de l'étude contemporaine du cerveau en activité est celle de sa haute spécialisation tant anatomique que fonctionnelle. Chaque petite région du cortex apparaît dédiée à une fonction spécifique et peut être considérée comme un microcerveau (ou module) spécialisé dans le traitement d'informations particulières (Fodor, 1983 ; Shallice, 1988). Ainsi, les manifestations de modularité exprimées par les cas de Chébaline et Isabelle ne sont pas l'apanage de la musique. On retrouve ce principe pour de nombreuses facettes du fonctionnement mental humain.

Considérons un instant le langage. Il est désormais bien établi que le langage est organisé de façon modulaire. Sa réalisation repose en majeure partie sur l'intégrité de l'hémisphère gauche du cerveau. Plus précisément encore, une région – située au croisement du gyrus temporal supérieur et du gyrus angulaire – préside à la compréhension du langage et sa portion antérieure située dans le gyrus frontal inférieur – dans l'aire de Broca – à l'articulation. Ces aires classiquement considérées comme aires du langage sont représentées dans la figure 1. Elles ont été découvertes il y a plus d'un siècle (Broca, 1861 ; Wernicke, 1874) et sont amplement confirmées par les techniques d'imagerie cérébrale contemporaine (Posner et Raichle, 1994). Aujourd'hui, on sait que la modularité pour le langage ne s'arrête pas à la dichotomie compréhension vs expression, mais concerne ses composantes plus fondamentales,

comme les opérations impliquées dans la phonologie, la syntaxe, l'assemblage orthographique et la sémantique. Par exemple, lire à voix haute un mot présenté par écrit mobilise une série de modules représentés par des symboles dans la figure 1. Le mot présenté atteint d'abord les aires visuelles primaires à l'arrière du cerveau et ensuite chemine vers l'avant, vers les régions motrices. Dans ce parcours, l'information visuelle va transiter par des régions spécialisées pour reconnaître certaines caractéristiques du mot, comme la façon dont il est écrit (le code orthographique), à quel concept il réfère (sémantique), la façon dont le mot sonne (le code phonologique) et la manière de l'articuler (code et geste articulatoire). Ainsi la lecture d'un mot isolé, une fonction linguistique pourtant très limitée, mobilise presque l'ensemble de l'hémisphère gauche. Ce long voyage est cependant constitué d'une série d'étapes, appelées modules.

Ces modules relativement distants les uns des autres dans l'espace cérébral sont spécialisés. Ils n'ont nulle autre fonction que d'exécuter une transformation particulière de l'information dans la chaîne langagière. Chaque région exécute un calcul précis dont le produit participe de façon spécifique à la tâche. Notons, cependant, que la tâche en question – lire un mot isolé – suppose une orchestration serrée d'un grand nombre de modules. On saisit ainsi mieux pourquoi cette modularité du cerveau qui est relativement facile à concevoir est en fait difficile à dénicher. Une lésion peut venir perturber la lecture par la destruction (partielle ou complète) d'un ou de plusieurs modules différents. L'enregistrement d'une activation cérébrale peut refléter la sommation de plusieurs modules concernés. Désenchevêtrer ces modules est la tâche qui incombe aux neuropsychologues. Une tâche qui, comme nous le verrons, est tout juste ébauchée dans le cas de la musique.

2. Spécialisation du cerveau pour la musique

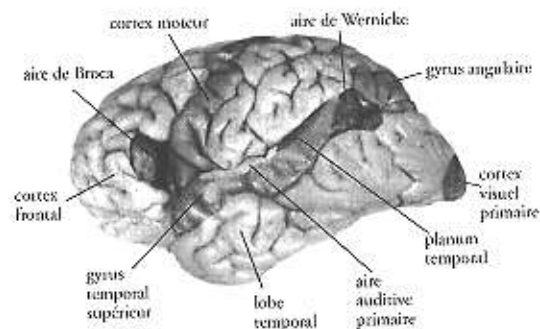
Jusqu'ici la musique a été envisagée comme faculté particulière par rapport au langage. Qu'en est-il au juste ? La musique peut-elle être considérée comme une faculté à part entière ? En d'autres termes, est-ce que la musique correspond à un domaine spécial de la cognition humaine (et a fortiori cérébrale) ? La réponse est affirmative pour certains, comme Howard Gardner (1983), de l'université d'Harvard, qui considère la musique comme émanant d'une intelligence distincte. Gardner identifie en fait six grandes facultés humaines, correspondant respectivement à l'intelligence linguistique, musicale, logico-mathématique, spatiale, kinesthésique-corporelle et personnelle. Suivant cette conception, la musique est spéciale dans le sens où elle correspond à un domaine de spécialisation du cerveau largement indépendant du reste de la cognition humaine. En

termes imagés et lapidaires, un imbécile peut être un musicien de talent, tout comme un grand mathématicien peut être musicalement inepte. Suivant ce scénario de modularité pour la musique, le cerveau posséderait un substrat cérébral qui lui est propre. Ce substrat cérébral, génétiquement programmé, n'aurait nulle autre fonction que d'assurer la mise en place d'un dispositif hautement spécialisé et dédié à la musique. Ce dispositif se stabiliserait dans des circuits neuronaux de façon relativement rigide chez tous les individus de l'espèce exposés à la musique.

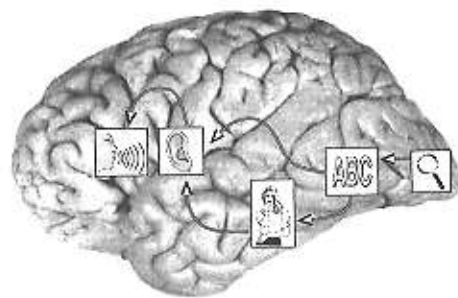
Figure 1

Les zones dites *classiques* du langage ainsi que toutes les structures cérébrales auxquelles le texte renvoie sont indiquées sur la représentation bidimensionnelle de l'hémisphère cérébral gauche du cerveau humain (partie supérieure). Dans la partie inférieure est illustrée la série d'étapes spécialisées dans la lecture à voix haute d'un mot (par exemple, FEMME) pour extraire :

- les caractéristiques visuelles (symbolisées par une loupe) ;
- la forme orthographique (symbolisée par les lettres de l'alphabet) ;
- la signification (symbolisée par une femme) ;
- la forme phonologique (symbolisée par une oreille) ;
- la forme articulatoire (symbolisée par l'émission sonore).



Lecture à voix haute d'un mot



La position inverse, à laquelle adhère une large proportion de spécialistes de la cognition (ou cognitivistes), envisage plutôt la musique comme un jeu de l'esprit, comme le reflet du fonctionnement général du cerveau humain. La musique mettrait en jeu une série d'activités ou de composantes de traitement qui participent à d'autres fonctions, essentielles ou non pour la survie humaine. Par exemple, la perception de la musique emprunterait l'essentiel des mécanismes utilisés dans la compréhension de la prosodie du langage (en suivant le contour intonatif, les variations de débit, les pauses, etc.) et la lecture musicale emprunterait les techniques d'assemblages entre symbole et sons mises au point dans la lecture du code langagier écrit. Comme le cerveau ne posséderait pas de mécanismes génétiquement programmés pour la musique, cette dernière viendrait s'arrimer aux systèmes qui semblent les plus adéquats pour remplir ses diverses fonctions. La musique viendrait ainsi parasiter des systèmes biologiques au destin initial différent. Suivant ce scénario de parasitage, le cerveau compenserait ce manque biologique en se configurant, selon ses besoins immédiats, des circuits de rechange qui pourraient dès lors fonctionner de façon variable d'un individu à l'autre.

Pour pouvoir se positionner par rapport au scénario de modularité vis-à-vis du scénario de parasitage, il est bien sûr nécessaire de puiser dans différentes sources d'information, émanant notamment de l'évolution, de l'ethnologie, de la musicologie, de la philosophie, de la psychologie (surtout développementale). Parmi toutes ces sources, l'une des plus directes relève des sciences du cerveau dont il est question ici. En effet, si la musique correspond à une faculté humaine distincte, dans le sens où elle met en jeu un dispositif spécifique, alors elle doit être *isolable* dans le cerveau. En termes neuropsychologiques, *isolable* réfère à la modularité dont nous avons parlé précédemment. Les activités musicales doivent être à la fois autonomes par rapport aux autres facultés humaines (tel le langage) et desservies par des systèmes neuronaux qui lui sont dédiés.

2.1. Les arguments issus de la clinique neurologique

Comme les cas d'aphasie et d'amusie isolée, relevés chez Chébaline et Isabelle, le suggèrent, la musique semble "isolable" par rapport au langage. Une lésion accidentelle du cerveau peut, en effet, sélectivement perturber l'appréhension musicale en épargnant le langage (le cas d'Isabelle), et inversement, préserver la musique en anéantissant le langage (le cas de Chébaline). D'autres conditions neurologiques peuvent conduire à un constat similaire. Par exemple, l'autisme peut perturber en profondeur le fonctionnement intellectuel et langagier, et néanmoins épargner la musique. Ces autistes, déficients intellectuels, sont connus sous le vocable peu flatteur de "savants-idiots" ou "musiciens-savants". L'étiologie de l'autisme n'a pas encore été identifiée ; néanmoins, l'incidence est élevée, avec un

ou deux cas sur mille naissances (à peu près dans les mêmes proportions que le syndrome de Down). Parmi les autistes, de 1 à 10 % sont qualifiés de musiciens. Un cas célèbre (détaillé dans Miller, 1989) est l'histoire de "Blind Tom". Il s'agit d'un jeune esclave aveugle qui donnait de célèbres concerts de piano à la Maison-Blanche et dans le monde entier. Son vocabulaire comportait moins de cent mots, mais son répertoire musical comptait plus de cinq mille pièces. L'histoire de ce mémorable "idiot" musicien commença en 1850 lors d'une vente d'esclaves en Géorgie. Il fut vendu avec sa mère au colonel Bethune. Jusqu'à l'âge de cinq ans, il ne parlait pas et ne manifestait pas d'autre signe d'intelligence que son intérêt pour la musique jouée par les filles du colonel. A quatre ans, il jouait des sonates de Mozart qu'il avait entendues. A l'âge de six ans, il commença à improviser, et à sept ans, il donna un concert. En 1862, alors qu'il ne savait pas lire la musique, il rejeta de mémoire et sans erreur quatorze pages d'une composition originale après l'avoir entendue une seule fois. Blind Tom donna des concerts jusqu'à l'âge de cinquante-trois ans où sa carrière s'arrêta en raison de la mort du colonel qui prenait soin de lui.

Les musiciens-savants fascinent. Non sans raison. Ces retardés mentaux constituent des preuves évidentes que la faculté musicale peut se développer, voire s'épanouir, indépendamment du reste du fonctionnement cognitif. Ces cas appuient fortement la conception modulaire, c'est-à-dire celle des intelligences multiples de Gardner décrite précédemment.

Outre l'autisme et l'amusie qui conduisent à de fascinants constats concernant le cerveau musical, il existe encore une autre forme de pathologie cérébrale, encore plus répandue et très révélatrice quant à la modularité du cerveau pour la musique. Cette autre pathologie est l'épilepsie. L'épilepsie résulte de la décharge de réseaux neuronaux devenus hyperexcitables dans une région particulière du cerveau (le plus souvent située dans le lobe temporal, voir figure 1) ; cette décharge anormale peut se propager à l'ensemble du cerveau. L'épilepsie survient chez environ quarante-cinq individus sur cent mille, dont 80 % peuvent être stabilisés par voie médicamenteuse. Dans certains cas, recensés à plus de quatre-vingts à ce jour (Wieser *et al.*, 1997), la crise d'épilepsie peut être déclenchée par la musique. Une patiente épileptique du neurologue anglais MacDonald Critchley lui signala à brûle-pourpoint, lors d'une de ses visites régulières pour ajustement de sa médication, que ses attaques étaient exclusivement provoquées par la musique. Et pas n'importe quelle musique. Seulement la musique qu'elle qualifiait de classique, bien qu'elle admît être complètement dénuée de penchant esthétique pour celle-ci. La patiente fut admise à l'hôpital et soumise, avec son assentiment, à une expérience. Plusieurs extraits de musique de danse lui furent présentés. Sans effet. En revanche, l'écoute du seul disque classique dont disposaient les expérimentateurs, contenant la *Valse des fleurs* de Tchaïkovski,

déclencha immédiatement une crise généralisée avec écume aux lèvres et cyanose (Critchley, 1977). L'enregistrement des ondes électriques émises par le cerveau à partir d'électrodes placées sur le cuir chevelu (appelée *électro-encéphalographie* - EEG) lors des crises d'épilepsie musicogénique démontre le plus fréquemment des anomalies de la région temporale. Cette région abrite donc un réseau de neurones qui ne se déchaînent qu'en présence de musique, donnant ainsi une idée de l'extrême spécialisation de cette aire cérébrale pour la musique.

Wilder Penfield et Phanor Perot (1963), de l'Institut neurologique de Montréal, arrivent à la même conclusion par l'utilisation d'une technique aujourd'hui délaissée. Cette technique consiste à stimuler directement le cortex temporal du patient épileptique, conscient, à l'aide d'une électrode, et ce, avant d'exciser chirurgicalement le tissu épileptogène. Ces neurologues ont ainsi exploré le cortex de cinq cent vingt patients épileptiques. Ils constatent d'abord que la stimulation peut évoquer dans environ 8 % des cas un souvenir précis que le patient (éveillé) décrit verbalement. Un peu plus de la moitié de ces souvenirs concerne l'audition. Les patients rapportent entendre des voix, entendre de la musique. Une fois sur quatre, ces souvenirs ainsi évoqués concernent exclusivement la musique. "Les auteurs stimulent (à l'insu de la patiente) une région particulière de la première circonvolution temporale droite. La patiente dit : «J'entends de la musique.» On re-stimule au même endroit sans avertir la patiente qui, immédiatement, dit : «J'entends la musique de nouveau. C'est comme à la radio.» Quand on lui demande de quelle musique il s'agit, elle répond qu'elle ne sait pas, mais que c'est familier. On récidive sans bouger l'électrode et sans l'avertir. La patiente s'écrie : «Je l'entends.» L'électrode est maintenue en place et on lui demande de décrire ce qu'elle entend. La patiente se met alors à fredonner un air. Elle le fredonne si clairement qu'une infirmière dans la salle de chirurgie le reconnaît comme étant *Rolling Along Together*. La patiente admet que ça ressemble aux mots de la chanson qu'elle entend." (Penfield et Perot, 1963, p. 620.) Les régions temporales des hémisphères gauche et droit sont susceptibles d'évoquer des expériences musicales. Bien que distribuées bilatéralement, le fait d'observer des souvenirs exclusivement musicaux chez des personnes dénuées de toute formation musicale signe l'importance de l'environnement musical qui demeure pour des durées insoupçonnées ancré dans les réseaux neuronaux ainsi que la spécialisation du cerveau pour les expériences musicales.

L'ensemble des données issues de la clinique s'accordent sur un point : les réseaux neuronaux logés dans ou à proximité du gyrus temporal supérieur participent de façon décisive à la perception et à la mémoire musicales. Il est important de préciser ici qu'Isabelle, comme tous les autres cas d'amusie perceptive que nous avons étudiés, a subi des dommages

importants dans ces mêmes régions. Dès lors, s'il existe une faculté musicale dans le cerveau, le germe de celle-ci doit occuper des réseaux neuronaux du lobe temporal supérieur du cerveau humain. Nous reviendrons sur cette question de localisation dans la section 3.

2.2. Arguments issus de l'étude du cerveau normal

Une objection fréquemment émise à l'égard des enseignements tirés de la clinique comme ceux que nous venons de décrire est qu'ils ne peuvent se généraliser à un cerveau sain. La pathologie pourrait créer des bizarreries qui n'ont rien à voir avec le fonctionnement cérébral normal. Heureusement, les sciences du cerveau disposent à l'heure actuelle d'un arsenal de techniques qui facilitent l'étude du fonctionnement d'un cerveau normal, et ainsi permettent l'établissement de ponts entre la clinique et le fonctionnement normal.

La question de la modularité pour la musique a encore été peu explorée chez l'individu normal. Dans les rares études qui l'abordent, l'organisation cérébrale pour la musique est invariablement posée par rapport à celle du langage. Néanmoins, différentes techniques ont été exploitées pour sonder cette comparaison, nous donnant ainsi l'occasion d'exposer brièvement en quoi consistent ces techniques très influentes dans le domaine.

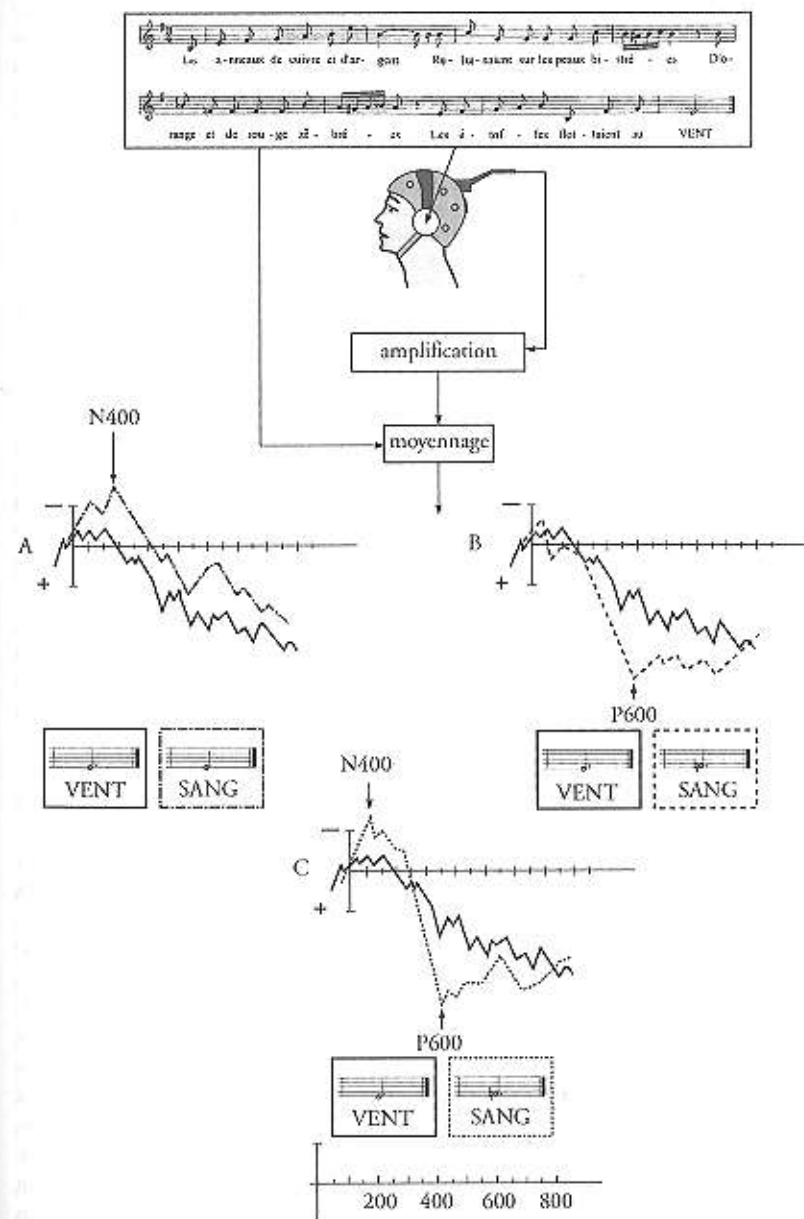
Une première étude, menée en 1977 par Howard Goodglass et Mara Calderon de l'université de Boston, a exploité la technique d'écoute dichotique, la plus en vogue à l'époque pour étudier l'organisation cérébrale du sujet sain. L'écoute dichotique consiste à présenter au travers d'écouteurs un stimulus sonore à l'oreille gauche et simultanément un autre, à l'oreille droite. Si, au terme d'un grand nombre de présentations dichotiques, l'auditeur manifeste une meilleure performance pour l'information parvenue à une oreille particulière, on infère que l'hémisphère controlatéral est plus efficace dans le traitement concerné. Par exemple, la parole présentée à l'oreille droite est généralement mieux traitée que celle qui est présentée à l'oreille gauche. On attribue cette supériorité à l'oreille droite à la plus grande efficacité du traitement opéré dans l'hémisphère gauche du cerveau. Cette relation croisée entre oreille de présentation et hémisphère cérébral est expliquée par différents phénomènes dont le plus populaire est neuro-anatomique : les fibres nerveuses qui acheminent l'information auditive se rendent en plus grand nombre à l'hémisphère opposé à l'oreille stimulée. Des sujets, tous musiciens, entendaient des suites de trois chiffres chantés sur différentes hauteurs présentés dichotiquement (avec une série différente dans chaque oreille, simultanément). Leur tâche consistait à reproduire (en chantant) ce qu'ils avaient entendu, et ce, après chaque présentation. Les résultats obtenus par les musiciens indiquent qu'ils se rappelaient mieux les chiffres présentés à l'oreille droite tout en reproduisant mieux les hauteurs présentées à

l'oreille gauche. Ces résultats confirment la supériorité bien établie de l'hémisphère cérébral gauche pour le langage (les chiffres). Les résultats suggèrent aussi que la musique porteuse de ces mêmes chiffres relève d'un substrat cérébral distinct, siégeant principalement dans l'hémisphère droit. La démonstration est particulièrement spectaculaire, car elle illustre la possibilité que les modules linguistiques et musicaux se mobilisent en parallèle et indépendamment pour traiter les informations qui relèvent de leur champ respectif. En effet, rien dans les chiffres chantés ne permet de déclencher a priori l'un ou l'autre de ces deux types de module puisque musique et parole sont intégrés dans l'onde sonore. Ce sont les modules qui se partagent le travail, chacun repérant dans le chant les indices qui relèvent de sa compétence particulière.

Des résultats très semblables ont récemment été obtenus par Mireille Besson et ses collaborateurs (1998) du Centre de neuroscience cognitive à Marseille, en exploitant une tout autre technique, celle des potentiels évoqués (connus sous l'abréviation anglaise ERPs, pour *evoked related potentials*). Les ERPs correspondent à une analyse particulière des signaux détectés par électro-encéphalographie (EEG). Comme mentionné plus haut, l'EEG consiste à amplifier et suivre dans le temps les faibles variations électriques captées par des électrodes placées sur le cuir chevelu des sujets. Ces variations électriques sont en fait produites par les potentiels d'action des neurones en activité et peuvent être mesurées à la milliseconde près. Les ERPs consistent à enregistrer ces potentiels associés à la présentation d'un événement auditif ou visuel et à les moyenner sur un grand nombre d'événements similaires. De ce "moyennage" se dégage un tracé des potentiels ainsi évoqués, dont les composantes caractéristiques peuvent être analysées et comparées statistiquement. Ces analyses permettent de suivre le déroulement temporel de l'activité mentale liée au traitement des événements présentés. Les technologies modernes permettent d'enregistrer de multiples sites (la plupart des laboratoires utilisent aujourd'hui plusieurs dizaines d'électrodes). Comme chaque électrode détecte localement le potentiel évoqué, la forme des potentiels varie avec l'emplacement des électrodes. L'analyse de ces variations spatiales de l'activité électrique permet de présumer la localisation de la source cérébrale de l'activité enregistrée.

Cette technique a été utilisée afin de capter l'activité cérébrale évoquée par le langage et la musique dans une situation d'écoute plus naturelle que l'écoute dichotique. Les sujets munis d'un casque d'électrodes écoutaient attentivement des extraits d'opéras (tel que celui présenté dans la figure 2, tiré de *Carmen* de Bizet) afin d'y déceler une anomalie éventuelle sur la finale. Certaines finales ont été intentionnellement et systématiquement modifiées, et sont illustrées dans la figure 2 avec les potentiels évoqués associés idéalisés.

Figure 2



ERPs évoqués par une incongruité dans les paroles et/ou la musique d'extraits d'opéras. Dans l'expérience relatée ici, les extraits ont été chantés par la même chanteuse professionnelle au tempo prescrit par la partition. Chaque tracé représente l'activité moyennée et enregistrée à partir du début du dernier mot de cinquante extraits d'opéras différents par sujet, et ce, pour seize sujets musiciens. Ces derniers devaient écouter attentivement les extraits afin de détecter des anomalies linguistiques ou musicales se produisant à la fin des extraits.

a) ERP (enregistré sur le site central Cz) pour les mots congrus (*venir*) et incongrus sémantiquement (*sang*) : le mot incongru évoque une N400 d'amplitude plus importante que le mot congru ;

b) ERP (enregistré au même site Cz) pour la note attendue (*mi*) et relativement inattendue (*fa* bécarré) : la note inattendue évoque une composante positive tardive plus importante aux alentours de 600 millisecondes que la note attendue ;

c) ERP (site Cz) pour les finales originales et pour les finales doublement incongrues quant au texte et à la musique. Notez la réponse évoquée bi-phasique, d'une montée en N400 suivie d'une descente en P600 plus tardive, par rapport à la réponse évoquée par la finale originale. Le voltage négatif est représenté au-dessus par convention. Chaque marque représente 100 millisecondes. La barre verticale de calibrage représente 2 μ V (tracés stylisés obtenus dans Besson *et al.*, 1998).

Comme on peut le suivre dans la figure, une anomalie sémantique du dernier mot produit une composante négative dont la crête se situe environ 400 millisecondes après le début du mot modifié (elle est appelée, pour cette raison, N400). Une incongruité musicale produite par une finale inattendue évoque une composante de polarité inverse (positive) et plus tardive (atteignant son maximum après 600 millisecondes à compter du début de la note modifiée, et ainsi appelée P600). Les potentiels négatifs associés au langage et positifs pour la musique sont évalués par rapport à un niveau de base, établi par la finale originale des extraits d'opéra. La condition critique par rapport à la question de modularité correspond ici à la présence d'une double incongruité, se produisant à la fois linguistiquement et musicalement. Dans ce cas, une simple juxtaposition de la N400 et de la P600 est obtenue dans la même fenêtre d'activité, démontrant ainsi l'indépendance des générateurs cérébraux d'activité électrique déclenchés par le langage et la musique du même opéra. La localisation de ces deux types de générateur demeure, encore à établir.

Cette autonomie cérébrale de la musique par rapport au langage ne se limite pas à l'audition. Cette indépendance s'étend à la lecture, comme l'indique la comparaison de deux études menées indépendamment, en 1992 par Justine Sergent et ses collaborateurs de l'Institut neurologique de Montréal sur la musique, et en 1988 par Steven Petersen et ses collaborateurs de l'université de Washington, sur le langage. Les deux études utilisent la tomographie par émission de positons (TEP) pour enregistrer directement le cerveau actif d'individus normaux. La tomographie par émission de positons permet d'enregistrer l'augmentation du débit sanguin cérébral en réponse au besoin accru de la consommation

d'oxygène de la région cérébrale activée. Pour suivre cette consommation cérébrale accrue, des molécules radioactives sont injectées par voie intraveineuse. La technique n'est donc pas inoffensive. La détection du taux de radioactivité par émission de positons permet de localiser en trois dimensions le ou les sites cérébraux dont le débit sanguin est accru pendant 2 ou 3 minutes. Mentionnons au passage que d'autres techniques d'imagerie cérébrale, par résonance magnétique et par magnéto-encéphalographie, ont été récemment mises au point ; ces dernières rivalisent en précision spatiale et temporelle avec la TEP et les ERPs, donnant ainsi accès à un vaste arsenal de mesures fonctionnelles du cerveau.

À l'aide de ce type d'imagerie cérébrale fonctionnelle, on peut littéralement voir les régions cérébrales activées respectivement par l'écoute et la lecture du langage et de la musique. Ces régions sont illustrées dans la figure 3.

Comme on peut le saisir rapidement dans cette figure et sans entrer dans le détail, les zones cérébrales d'activation pour la musique apparaissent distinctes et adjacentes de celles qui sont impliquées dans le langage. La séparation anatomique confirme l'autonomie importante de la musique par rapport au langage, que le code d'entrée soit visuel ou auditif. L'organisation cérébrale parallèle suggère que les modules desservant musique et langage suivent un parcours très similaire. Cette dernière observation explique pourquoi l'amusie et l'aphasie se retrouvent souvent chez le même individu (Marin, 1982 ; Basso, 1993). Des cas d'atteinte sélective comme ceux observés chez Chébaline et Isabelle sont rares. L'incidence plus élevée des cas d'aphasie avec amusie s'explique par la destruction d'aires cérébrales adjacentes par un accident cérébral qui ne respecte que rarement les territoires fonctionnels.

2.3. Une modularité par défaut ?

Les observations neuropsychologiques abondent dans le sens d'une séparation cérébrale relativement marquée entre langage et musique. Ce constat n'implique nullement que les deux facultés soient sous-tendues par des systèmes modulaires. Seul le langage pourrait être "spécial" en étant organisé de façon distincte dans le cerveau. La musique pourrait tenir de tout ce qui ne relève pas du langage, comme des sons familiers de notre environnement, des voix, des cris d'animaux, et de bien d'autres. La musique, comme tout événement non verbal, pourrait être desservie par un système à vocation générale dont la mission est de comprendre et organiser l'environnement sonore, exception faite de la parole. Nous retombons ainsi dans le second scénario, celui d'absence de spécialisation du cerveau pour la musique. Il importe donc de s'attarder un instant sur la plausibilité de cette modularité par défaut.

Figure 3

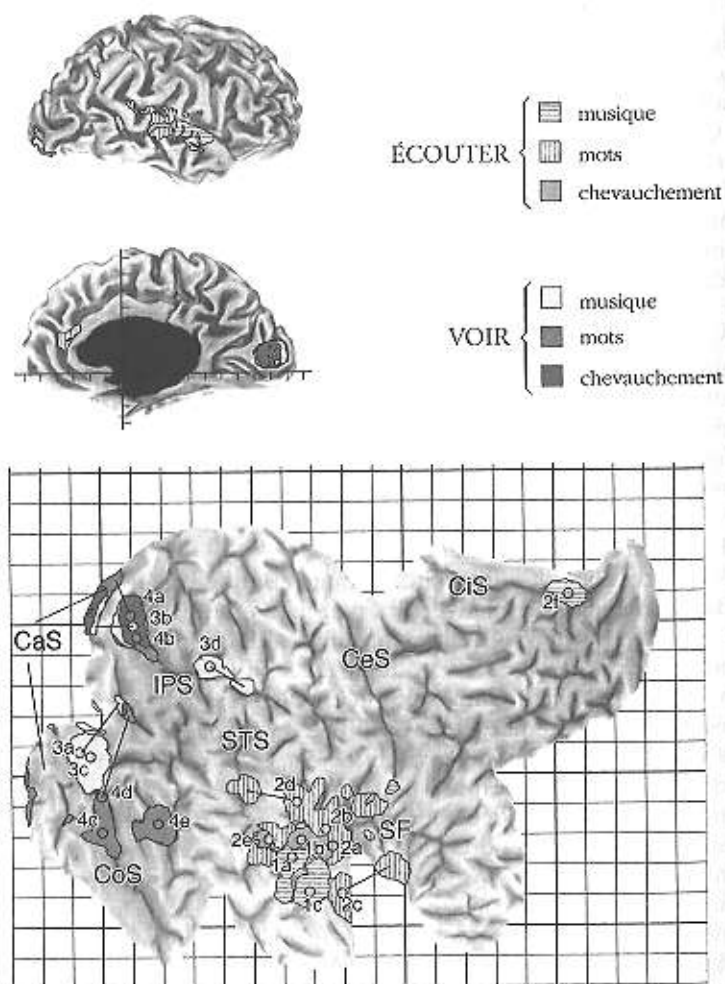
Projection des foyers d'activation enregistrés dans deux études utilisant la TEP, l'une reliée à l'écoute et la lecture d'extraits musicaux (Sergent *et al.*, 1992), et l'autre à l'écoute et la lecture de mots (Peterson *et al.*, 1988).

En haut : les vues latérales et médianes de l'hémisphère droit cartographié par Talairach.

En bas : une vue plane de ces mêmes structures.

La représentation dans l'hémisphère droit est due à la cartographie de Talairach ; en fait, la majorité de ces foyers se trouvent en miroir dans l'hémisphère gauche.

Adapté de Drury et Van Essen (1997) et reproduit avec leur permission et celle de Wiley and Sons.



D'abord, nous avons vu précédemment que des régions dans le cerveau répondent exclusivement à la musique, comme le démontrent les épilepsies musicogéniques et les stimulations électriques du cortex. Cette exclusivité s'assimile difficilement à l'idée que ces mêmes réseaux neuronaux puissent répondre à d'autres types de sources sonores, tel le miaulement du chat. Ensuite et surtout, un accident cérébral peut perturber certaines activités musicales sans nuire à l'organisation sonore dans son ensemble.

Nous avons pu constater à plusieurs reprises qu'un patient cérébro-lésé qui avait perdu la capacité de reconnaître des musiques familières pouvait non seulement reconnaître les paroles associées (lorsqu'il s'agit de chansons) mais également les voix de personnalités publiques, les intonations du langage, les cris d'animaux et les sons émis par les objets usuels (Peretz *et al.*, 1994 ; Peretz, 1996). Cette perte sélective pour la musique ne peut pas s'expliquer par une vulnérabilité cérébrale plus grande pour la musique, due, par exemple, au faible intérêt que représente la musique pour certains individus. En effet, la situation inverse peut également se produire. Dans ces cas, apparemment dénués d'intérêt particulier pour la musique, seule celle-ci semble avoir été épargnée par l'atteinte cérébrale. Ces patients se retrouvent, du moins transitoirement, dans l'incapacité de comprendre ce qui leur est dit oralement ainsi que de reconnaître les sons environnants familiers. Ils ne sont pas sourds, cependant ; ils peuvent reconnaître des mélodies familières (Laignel-Lavastine et Alajouanine, 1921 ; Godefroy *et al.*, 1995).

Ces observations vont bien dans le sens du scénario de modularité pour la musique. Elles convergent vers la conclusion qu'il existe des circuits neuronaux dédiés exclusivement à la musique. Les réseaux les plus critiques à cet égard, en participant aux activités perceptives et à la mémoire de la majorité des individus, semblent nichés dans la partie supérieure des lobes temporaux.

3. Où et comment la musique est-elle organisée dans le cortex ?

Pour mieux saisir la question de la localisation des activités musicales dans le cerveau, il est utile de retracer brièvement son parcours historique.

3.1. Historique

Depuis les premières découvertes appuyant la thèse de la modularité du cerveau, la question de la localisation de la musique a été posée. La raison est simple. Les premiers jalons de la modularité ayant été posés

pour le langage en le situant dans l'hémisphère cérébral gauche du droitier (Broca, 1861), un corollaire logique était d'envisager que ce même hémisphère était dépositaire des fonctions supérieures spécifiquement humaines. Avec une intuition scientifique remarquable, plusieurs neurologues se sont tournés vers les musiciens atteints d'une lésion cérébrale soudaine pour trouver réponse à cette question.

La réponse a été quelque peu décevante. Oui, la musique semblait dépendre de l'intégrité de l'hémisphère gauche. Non, la musique ne dépendait pas exclusivement de cet hémisphère cérébral, l'hémisphère droit semblait jouer un rôle non négligeable (Henschen, 1926). D'une part, de nombreux musiciens, tel Chébaline, dont l'hémisphère gauche avait été dévasté, poursuivaient leur carrière musicale. D'autre part, certains musiciens atteints à l'hémisphère droit se plaignaient de ne plus pouvoir poursuivre certaines activités musicales comme par le passé. Force était de constater que l'hémisphère gauche n'était pas dominant dans toute activité sophistiquée. Qui plus est, la spécialisation hémisphérique gauche semblait difficile à maintenir pour la musique.

La popularité de l'idée opposée, voulant que la musique émane surtout de l'hémisphère cérébral droit, est survenue plus tard, à la fin des années 1960. Cette notion s'est imposée par les études montréalaises de vastes séries de sujets normaux et de sujets cliniques, réalisées par Doreen Kimura (1964) et Brenda Milner (1962). Les sujets normaux ont été étudiés avec la technique d'écoute dichotique, décrite dans la section précédente. En utilisant cette technique, Doreen Kimura a montré en 1964 que les auditeurs reconnaissaient généralement mieux les extraits musicaux (issus du répertoire instrumental classique et pris d'enregistrements commerciaux) dans l'hémisphère cérébral droit. Parallèlement, Brenda Milner montrait en 1962 qu'une excision partielle du lobe temporal droit (voir figure 1) affaiblissait les résultats des patients à des épreuves de discrimination de séquences pseudo-musicales, plus que ne pouvait le faire une excision semblable à gauche. (L'excision d'une partie du tissu cérébral est une intervention relativement courante qui permet d'enrayer une épilepsie résistante à la médication. Le foyer épileptique étant le plus souvent situé dans le lobe temporal, une excision d'une grande partie du tissu neuronal de ce lobe rend possible l'étude de grandes séries de patients pour qui la taille et la localisation de la lésion cérébrale est connue et relativement homogène.)

Qu'est-ce qui explique cette divergence de points de vue entre les premières études de cas et les études de grandes séries, cliniques et normales ? Les premières mettaient en évidence une contribution évidente de l'hémisphère gauche aux activités musicales, les deuxièmes démontraient une suprématie de l'hémisphère droit. Une explication

attrayante est de revenir à la possibilité que l'hémisphère gauche soit la partie éduquée du cerveau. Comme les premières études de cas portaient sur des professionnels, par facilité (les musiciens sont les premiers à se plaindre), les conditions étaient réunies pour démontrer la suprématie de l'hémisphère expert (le gauche chez les musiciens). Inversement, comme les vastes séries portent sur des personnes très diverses, elles incluent une écrasante majorité non éduquée musicalement et découvrent ainsi l'hémisphère du novice (l'hémisphère droit des non-musiciens).

Cet effet de l'expertise musicale sur les principes d'organisation cérébrale a trouvé écho dans une étude très influente menée par Tom Bever et Robert Chiarello de l'université Columbia en 1974. En utilisant la technique d'écoute dichotique, ils ont démontré que les musiciens non seulement reconnaissaient mieux les mélodies dans l'hémisphère gauche mais étaient les seuls à pouvoir reconnaître deux notes comme issues de ces mélodies. Les non-musiciens échouaient à reconnaître les deux notes et reconnaissaient les mélodies dans leur hémisphère droit. Ces résultats indiquent que l'éducation musicale induit une stratégie d'écoute, fondée sur les intervalles, qui relève de l'hémisphère gauche. Les non-musiciens s'en tiendraient, quant à eux, à une définition grossière de la mélodie, liée au contour mélodique, qui impliquerait davantage l'hémisphère droit. Comme nous le verrons plus loin (section 3.3), l'idée suivant laquelle les intervalles et le contour seraient des attributs musicaux qui relèvent, respectivement, des hémisphères gauche et droit est un principe d'organisation cérébrale relativement bien établi. En revanche, l'idée suivant laquelle seuls les musiciens seraient équipés pour recourir à l'hémisphère gauche a été vivement critiquée. La spécialisation hémisphérique pour la musique ne semble pas pouvoir s'expliquer par un seul facteur. Selon la tâche exigée et les paramètres musicaux soumis à l'étude, les musiciens tout comme les non-musiciens peuvent utiliser l'hémisphère droit. De même, les non-musiciens peuvent être amenés à utiliser l'hémisphère gauche (pour une recension, voir Peretz et Morais, 1988).

La première conclusion à tirer de ce bref survol historique de la recherche sur la localisation de la faculté musicale en termes d'hémisphères cérébraux est un non-lieu. Il y a différentes façons d'interpréter cet échec. Soit cet échec reflète le fait qu'il n'existe pas de spécialisation cérébrale pour la musique. Nous avons vu plus haut que cette conclusion est peu vraisemblable. Les observations cliniques semblent bien suggérer la présence d'une faculté musicale qui peut être soit sélectivement épargnée, soit sélectivement détruite. Soit, encore, la musique implique les deux hémisphères cérébraux et la prédominance de l'un

ou l'autre est un phénomène capricieux. Soit, enfin, la question est mal posée. Par exemple, la faculté musicale n'est pas une entité qu'on possède ou qu'on ne possède pas ; la faculté musicale repose sur une série de modules relativement indépendants les uns des autres, et donc susceptibles d'être logés dans des sites cérébraux distants. Nous verrons dans ce qui suit que c'est ce dernier scénario qui est le plus vraisemblable.

3.2. Principes d'organisation cérébrale

Comme nous l'avons vu dans la section 1, même une infime partie du langage, qui concerne la compréhension de mots isolés et qui correspond à une des activités les plus latéralisées dans le cerveau, couvre un vaste territoire cérébral. La compréhension de mots lus requiert pour ainsi dire la moitié du cerveau, en s'étendant presque dans tout l'hémisphère gauche. Il est donc clair que le langage, à l'instar de la plupart des activités mentales, en apparence simples, met en jeu une série de modules relativement éloignés les uns des autres (pour un examen de plusieurs activités mentales en ces termes, voir Posner et Raichle, 1994). Il n'y a pas de raison de penser qu'il en soit autrement pour la musique. Au contraire, les observations faites à l'aide de la TEP et représentées dans la figure 2 suggèrent une organisation similaire pour la musique.

De plus, une faculté déterminée biologiquement peut se distribuer sur les deux hémisphères cérébraux. Le fait que le langage soit essentiellement confiné à l'hémisphère cérébral gauche est plus une exception qu'une règle. Qu'il s'agisse de reconnaître un objet visuel, tel un tigre devant soi ou un visage familier, ou encore de retrouver son chemin ou de partir à la chasse, toutes activités essentielles à la survie, la participation des deux hémisphères cérébraux semble requise. Cette double participation n'est pas nécessairement redondante. Dans chaque hémisphère cérébral sont logés des modules qui peuvent contribuer de manière spécifique à l'activité en cours. L'identification de ces modules latéralisés ne fait cependant pas encore l'unanimité, même dans le domaine visuel où la recherche est la plus avancée. Il est dès lors moins surprenant d'admettre qu'il en va sans doute de même pour la musique.

A ce stade de la recherche sur les principes d'organisation cérébrale, que l'activité visée relève du champ visuel ou de la sphère musicale, il est avant tout nécessaire de définir le contenu et la fonction des modules qui participent à la tâche. Une fois identifiés, il devrait être possible de les localiser dans le cerveau. Il faut remarquer qu'il y aura probablement autant de réponses qu'il y a d'activités impliquées dans la musique. La tâche est donc considérable, allant de l'écoute distraite à la composition d'une œuvre. Parmi les multiples activités musicales

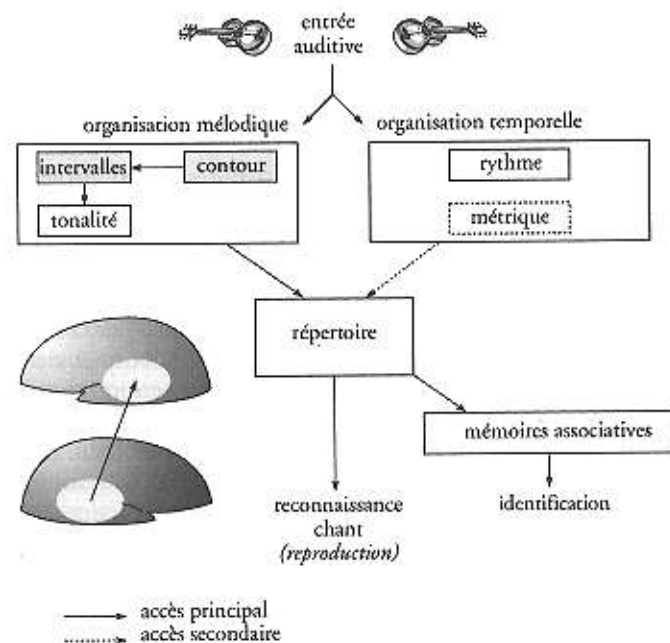
possibles, nous nous concentrerons ici sur l'une d'elles, la plus simple en apparence : la reconnaissance d'un air familier.

3.3. Une activité musicale parmi d'autres : la reconnaissance

De prime abord, la reconnaissance d'un extrait musical présenté auditivement mobilise plusieurs modules. L'intervention de ces modules se fait aussi bien en parallèle qu'en série, afin d'extraire le caractère structural unique de l'extrait. Cette affirmation s'appuie sur de nombreuses données, dont celles issues de la neuropsychologie sont probablement les plus franches.

Afin de mieux cadrer ces travaux qui visent à identifier les différentes composantes intervenant dans la reconnaissance musicale, un modèle est proposé dans la figure 4. Ce schéma issu, en majeure partie, de nos propres travaux réalisés à l'Université libre de Bruxelles puis à l'université de Montréal, est fondé sur des données expérimentales issues de l'étude du sujet normal (avec notamment la technique d'écoute dichotique) et du sujet adulte cérébro-lésé (pour un développement plus détaillé de ces mêmes idées, voir Peretz 1993a, 1993b et 1994).

Figure 4 : Modèle fonctionnel de la reconnaissance musicale



Suivant ce schéma, le cerveau de l'auditeur qui perçoit un extrait musical présenté auditivement fait les calculs suivants : il opère une analyse structurale des variations séquentielles des hauteurs caractéristiques (appelée *organisation mélodique*) et, parallèlement, il effectue une analyse de ses particularités temporelles (appelée *organisation temporelle*). La distinction de ces deux grandes voies d'analyse est appuyée par plusieurs observations issues essentiellement de la clinique (Peretz, 1990 ; Peretz et Kolinsky, 1993).

La distinction des variations en hauteur et des variations en durée est prise pour acquise par les musiciens et par de nombreux cognitivistes. Cette distinction se reflète dans le code écrit conventionnel qui utilise des symboles différents pour préciser les hauteurs et les durées. Il pourrait en être tout autrement en perception et en mémoire auditives. Suivant Mary Riess Jones de l'université d'Ohio et Marilyn Boltz du Collège Haverford, hauteurs et durées sont intégrées dans l'analyse perceptive d'une séquence musicale, ces hauteurs et durées étant considérées comme une entité indivisible dont l'organisation est guidée par l'accentuation combinée des durées et des hauteurs (Jones et Boltz, 1989). Ces deux chercheurs appuient leur thèse par de nombreuses démonstrations empiriques obtenues chez l'auditeur neurologiquement intact. Nous avons pu montrer qu'effectivement l'auditeur au cerveau intact ne peut s'empêcher de considérer conjointement hauteurs et durées, étant ainsi influencé par la double structure. En revanche, le cerveau lésé, privé de sa voie mélodique (figure 4), analyse normalement la structure temporelle de la musique. Cette économie de fonctionnement, liée à l'intervention des régions demeurées intactes dans le cerveau accidenté, démontre ainsi la séparabilité fonctionnelle des voies mélodique et temporelle, dans ses premières étapes d'analyse.

Chacune de ces voies d'analyse repose sur la mise en jeu d'une série de composantes distinctes. En ce qui a trait à la voie mélodique, au moins trois types de transformation, se distinguant par la nature du code qu'elles produisent, ont lieu : l'extraction du contour, des intervalles et de la tonalité. Le contour, défini par les trajectoires en hauteur, joue un rôle crucial en première approximation et en mémoire à court terme. L'information critique réside néanmoins dans la taille des intervalles. Ces intervalles s'expriment sur un continuum en hauteur et se calculent entre deux sons consécutifs. Enfin, la perception de la hauteur musicale reflète aussi, voire surtout, le savoir acquis sur les notes typiquement utilisées dans la culture, c'est-à-dire, dans notre système occidental, les règles du système tonal. La contribution respective de chacune de ces trois caractéristiques mélodiques à la

reconnaissance musicale a été bien documentée chez le sujet normal (voir Dowling et Harwood, 1986, et Krumhansl, 1990 pour des examens récents de la question). La validité neuropsychologique de ces distinctions repose sur l'obtention de dissociation entre hémisphères cérébraux chez le sujet normal au moyen de l'écoute dichotique (comme celle qui a été obtenue par Bever et Chiarello, 1974, décrite précédemment, et réexaminée par Peretz et Babai en 1992) et l'observation de troubles sélectifs après lésion cérébrale (Francès *et al.*, 1973 ; Peretz, 1990 et 1993b ; Liégeois-Chauvel *et al.*, 1998).

Les composantes caractérisées par l'extraction du contour et des intervalles sont les seules composantes du schéma représenté dans la figure 4 qui, à ce jour, ont été "localisées" dans le cerveau. Comme on le voit dans cette figure, l'extraction du contour se ferait dans les régions temporales droites du cerveau et serait transmise aux structures homologues de l'hémisphère gauche pour y être précisée en termes d'intervalles. L'hémisphère droit joue ainsi un rôle décisif à l'égard de l'organisation mélodique de la musique puisqu'il est conçu comme préliminaire perceptif obligatoire. Les résultats obtenus par Goodglass et Calderon (1977) dans la reproduction chantée de chiffres présentés dichotiquement et décrits dans la section 2.2, s'inscrivent dans cette perspective également. Les séries chantées se distinguaient par le contour (comme — — — et — — —) et non par les hauteurs précises qui reprenaient les mêmes valeurs (par exemple, *do, do, mi* et *mi, mi, do*).

Les structures plus frontales de ce même hémisphère seraient aussi importantes pour permettre le maintien en mémoire de ce type d'information mélodique (Zatorre *et al.*, 1994). Néanmoins, l'hémisphère gauche assume une relève essentielle puisqu'il permettrait l'encodage tonal de la hauteur, un ancrage incontournable pour apprécier l'essentiel de la musique occidentale et probablement aussi toute autre musique organisée par rapport à une hauteur-pivot (pour l'élaboration de cette idée, voir Peretz et Morais, 1989).

En ce qui concerne la voie temporelle (voir figure 4), on s'accorde actuellement pour y distinguer essentiellement deux niveaux d'organisation : la métrique et le rythme. La métrique réfère à la mesure ou à l'alternance périodique des temps forts et des temps faibles. Le rythme, quant à lui, réfère à l'organisation des durées relatives, sans égard pour la régularité des temps. La métrique est conçue comme reliée au rythme par l'intermédiaire de mécanismes de groupement pour certains (Povel, 1984), alors que d'autres (Lerdahl et Jackendoff, 1983) conçoivent ces deux niveaux d'organisation comme résultant de l'intervention de mécanismes totalement distincts. Ce dernier modèle

trouve appui dans les données neuropsychologiques actuelles, puisqu'une lésion cérébrale semble pouvoir perturber une composante sans affecter l'autre (Peretz, 1990). Néanmoins, cette voie d'analyse demeure le parent pauvre de la neuropsychologie faute d'études en la matière.

Enfin, nous formulons cette hypothèse : la représentation issue de la série de transformations mélodiques plutôt que temporelles serait déterminante dans l'accès au répertoire (comme le dénotent les lignes pleines et hachurées tracées dans la figure 4) qui donne lieu à la reconnaissance. Par répertoire, nous entendons l'existence d'une sorte de lexique contenant les représentations stockées en mémoire de toutes les musiques auxquelles l'individu a été exposé durant sa vie.

En principe, et vu le traitement parallèle envisagé pour l'organisation mélodique et temporelle d'une musique entendue, l'interruption accidentelle d'une des deux voies d'accès devrait pouvoir être compensée par le passage de l'information par l'autre voie. En d'autres termes, nous devrions être capable de reconnaître un air familier sur la base de sa structure temporelle particulière (reproduite par percussion, par exemple). Il n'en est rien. Nous avons montré que les étudiants universitaires tout-venant sont de piètres juges sur la dimension temporelle, alors qu'ils sont relativement précis et rapides sur la dimension mélodique (Hébert et Peretz, 1997). De plus, les deux patients cérébro-lésés qui présentaient tous deux une perturbation de la voie mélodique sans perturbation de la voie temporelle, se montraient incapables d'utiliser leurs capacités rythmiques intactes pour reconnaître et réapprendre les airs. Ces observations amènent à considérer que la voie mélodique est déterminante dans la reconnaissance musicale, du moins dans le système occidental.

Suivant ce modèle, l'extrait musical ne serait reconnu que lorsqu'un appariement adéquat entre les représentations abstraites fournies par les deux voies d'analyse (avec un poids plus important pour le calcul mélodique dans notre culture musicale) et la représentation stockée en mémoire au niveau du répertoire, est réussi. Une fois cette opération terminée, le cerveau peut déjà émettre un jugement de familiarité, voire reproduire l'extrait entendu. D'autres opérations, probablement liées à la mobilisation d'autres régions cérébrales, seront nécessaires si l'auditeur souhaite par exemple retrouver le titre ou le nom du compositeur ou encore en qualifier le style.

Enfin, mentionnons d'autres travaux qui suggèrent des pistes de raffinement du modèle de reconnaissance musicale repris dans la figure 4. Par exemple, à l'écoute d'un extrait musical, un grand nombre d'individus décrivent leur expérience en termes émotionnels. Nous avons étudié certaines de ces réponses émotionnelles chez le patient cérébro-lésé ;

nous avons ainsi découvert que les jugements émotionnels, fondés sur des caractéristiques musicales élaborées (liées notamment à l'harmonie), pouvaient être épargnés sélectivement par l'accident cérébral (Peretz et Gagnon, 1999 ; Peretz *et al.*, 1998). Ce type de résultat suggère l'existence d'une autre série de modules, axés sur les émotions, qui seraient relativement autonomes du système de reconnaissance décrit précédemment. Inversement, d'autres résultats suggèrent une superposition avec le système de reconnaissance. Il s'agit des travaux menés sur l'imagerie auditive. Ce type d'activité réfère à l'expérience phénoménologique de la plupart d'entre nous, selon laquelle nous pouvons évoquer et faire dérouler mentalement ou intérieurement un passage musical, sans qu'il y ait stimulation auditive. (Les souvenirs musicaux provoqués par stimulation électrique du cortex et rapportés dans les travaux de Penfield et Perot [1963] se rattachent à ce phénomène.) Robert Zatorre et ses collaborateurs de l'Institut neurologique de Montréal ont montré en 1996 à l'aide de la TEP que les territoires cérébraux activés lors de l'évocation d'airs de chansons coïncident avec ceux qui sont impliqués dans l'écoute de ceux-ci. Nous pouvons voir ainsi poindre des ramifications du modèle de reconnaissance. Le schéma pourrait admettre des passages d'information en sens contraire lorsque l'activité concernée est celle d'imaginer une musique plutôt que de la reconnaître ; le cerveau partirait alors du répertoire, et pourrait consulter les systèmes d'analyse mélodique et temporelle.

3.4. *Autres sphères d'activités musicales et expertise musicale*

Que sait-on des activités musicales autres que la reconnaissance auditive et la lecture musicale que nous avons abordées ici ? Bien peu encore. Parmi ces pans d'activités négligés comptent la plupart des habiletés que seuls les musiciens ont développées par la pratique mais aussi par apprentissage formel. Or, jusqu'ici nous avons traité de l'auditeur moyen sans nous préoccuper outre mesure de son statut musical. Nous avons envisagé les modules musicaux comme fonctionnant et s'articulant de la même façon chez l'individu dépourvu d'éducation musicale et chez le musicien de carrière. Cette assimilation tient de la conviction que tous les individus naissent avec des prédispositions pour la musique et que ces prédispositions vont s'épanouir par simple exposition aux musiques de leur environnement. Et ce, de façon relativement semblable et homogène chez tous les individus de l'espèce, qu'ils deviennent musiciens ou non par la suite (à ce sujet, voir dans ce volume l'article de John Sloboda, p. 540-560). L'éducation musicale est ainsi envisagée comme le produit de l'acquisition de savoirs et de savoir-faire supplémentaires et variés qui viendraient se greffer sur les

compétences partagées par tous les individus, sans les dénaturer. Il importe de s'attarder un bref instant sur ce postulat.

Le postulat d'une organisation cérébrale musicale partagée par tous les individus peut se révéler erroné. Dans ce cas, l'étude du cerveau des musiciens devrait nous fournir les éléments décisifs. En effet, il est possible de concevoir au moins deux façons dont les savoirs musicaux acquis peuvent venir modifier l'organisation cérébrale. Soit l'éducation musicale modifie les modules existants, soit elle en crée des nouveaux de toutes pièces. Les deux issues sont plausibles et ne sont pas mutuellement exclusives. Dans les deux cas de figure, le point essentiel consiste à évaluer dans quelle mesure ces modifications liées à l'expertise vont dénaturer l'organisation cérébrale initiale, bâtie sans éducation musicale formelle.

Prenons le cas des instrumentistes qui, avec les années, ont développé une dextérité exceptionnelle et adaptée à un instrument de prédilection. Cet exercice répété et spécialisé se solde, de fait, par des répercussions cérébrales observables. Notamment, la partie antérieure de leur corps calleux, qui permet la communication entre les aires sensorimotrices gauche et droite du cerveau, apparaît hypertrophiée de sur les clichés de résonance magnétique (Schlaug *et al.*, 1995a). De la même manière, la représentation corticale des doigts de la main gauche des "joueurs de cordes" est plus large que celle des non-musiciens. Cette hypertrophie cérébrale gauche dépend de l'âge auquel l'instrumentiste a commencé à pratiquer (Elbert *et al.*, 1995). Ces observations démontrent que l'organisation cérébrale est suffisamment flexible pour répondre aux besoins et aux expériences de l'individu, dans la mesure où ces expériences se produisent durant la maturation du cerveau. Ces observations n'impliquent cependant pas qu'il y a eu réorganisation. La pratique musicale n'a pas détourné le cortex moteur de son destin initial ; elle l'a juste rendu plus efficace pour ses fins, en accroissant par exemple la qualité et le nombre de connections synaptiques entre neurones du cortex sensorimoteur.

En revanche, la mise en évidence d'une autre structure cérébrale, le planum temporal de l'hémisphère gauche (voir figure 1), comme associée à l'oreille absolue, suscite davantage d'interrogations. Schlaug et son équipe (1995b), de l'université de Düsseldorf, ont montré que les détenteurs de l'oreille absolue possèdent une asymétrie du planum temporal plus marquée à gauche que les autres, musiciens (dépourvus de l'oreille absolue) et non-musiciens confondus. Cette asymétrie accrue est compatible avec la création d'un nouveau module. Il faut savoir que le planum temporal est une structure anatomique classiquement associée au langage. Une asymétrie gauche plus importante

de cette structure chez les détenteurs de l'oreille absolue suggère que des réseaux originalement dédiés au langage ont été détournés de leur destin initial pour servir leur habileté particulière. Doit-on envisager dès lors que le cerveau du musicien est organisé différemment de la majorité des individus ? C'est, à mon avis, prématuré. Le planum temporal n'est pas exclusivement dédié au langage. Des données récentes issues de l'imagerie cérébrale suggèrent que le planum temporal participe également à la perception de la hauteur (Binder *et al.*, 1996). Si cette constatation est confirmée, l'élargissement du planum temporal des détenteurs d'oreille absolue ne serait plus la signature d'un module créé *ex novo* mais bien celle d'une hypertrophie d'un module partagé, s'apparentant ainsi aux découvertes reliées aux modules sensorimoteurs des instrumentistes.

4. En conclusion

Comme on a pu le constater tout au long de cet article, la question du cerveau musical est posée depuis plus d'un siècle. Son sort a connu des hauts et des bas, tributaires des techniques d'investigation en vogue à chaque époque. Des progrès tangibles ont été néanmoins accomplis en permettant de conclure que la musique repose sur la mise en jeu de nombreux "microcerveaux" dont certains au moins lui seraient dédiés. Le débat est, bien entendu, loin d'être clos. Vu les développements vertigineux que connaissent les techniques d'imagerie cérébrale à l'heure actuelle, dont on a eu un avant-goût dans ce chapitre, ainsi que l'explosion des recherches expérimentales qui se produit dans le domaine musical depuis les années 1980 dans les sciences cognitives, il est très vraisemblable qu'un nouveau volet pourra dans quelques années être ajouté à celui-ci. Quel que soit le sort que connaîtra la question du cerveau musical dans ce nouveau volet, l'essentiel est en fin de compte que cette question continue d'alimenter les discussions sur la place de la musique pour l'être humain et, ainsi, de susciter de stimulantes recherches.

Bibliographie

- ASSAL, G., 1973 : "Aphasie de Wernicke chez un pianiste", *Revue neurologique*, vol. XXIX, p. 251-255.
- BASSO, A., 1993 : "Amusia", in *Handbook of Neuropsychology*, H. Spinnler et F. Boller (éd.), vol. VIII, p. 391-410.

- BASSO, A. et CAPTIANI, E., 1985 : "Spared Musical Abilities in a Conductor with Global Aphasia and Ideomotor Apraxia", *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, vol. XLVIII, p. 407-412.
- BESSON, M., FAÏTA, F., PERETZ, I., BONNEL, A.-M. et REQUIN, J., 1998 : "Singing in the Brain : Independence of Lyrics and Tunes", *Psychological Science*, vol. IX, n° 6, p. 494-498.
- BEVER, T. G. et CHIARELLO, R. J., 1974 : "Cerebral Dominance in Musicians and Non Musicians", *Science*, vol. CLXXXV, p. 537-539.
- BINDER, J., FROST, J., HAMMEKE, T., RAO, S. M. et COX, R., 1996 : "Function of the Left Planum Temporale in Auditory and Linguistic Processing", *Brain*, vol. CXIX, p. 1239-1247.
- BROCA, P., 1861 : "Remarques sur le siège de la faculté du langage articulé, suivies d'une observation d'aphémie", *Bulletin et mémoires de la Société anatomique de Paris*, vol. II, p. 330-357.
- CRITCHLEY, M., 1977 : "Musicogenic Epilepsy", in *Music and the Brain*, M. Critchley et R. A. Henson (éd.), Londres, W. Heinemann Medical Books, p. 344-353.
- DOWLING, W. J. et HARWOOD, D. L., 1986 : *Music Cognition*, Orlando-San Diego-New York, Academic Press.
- DRURY, H. et VAN ESSEN, D., 1997 : "Functional Specializations in Human Cerebral Cortex Analyzed Using the Visible Man Surface-Based Atlas", *Human Brain Mapping*, vol. V, p. 233-237.
- ELBERT, T., PANTEV, C., WIENBRUCH, C., ROCKSTROH, B. et TAUB, E., 1995 : "Increased Cortical Representation of the Fingers of the Left Hand in String Players", *Science*, vol. CCLXX, p. 305-307.
- FOIXOR, J. A., 1983 : *The Modularity of Mind*, Cambridge, MIT Press.
- FRANCÈS, R., LHERMITTE, F. et VERDY, M., 1973 : "Le déficit musical des aphasiques", *Revue internationale de psychologie appliquée*, vol. XXII, p. 117-135.
- GARDNER, H., 1983 : *Frames of Mind. The Theory of Multiple Intelligences*, New York, Basic Books.
- GODEFROY, O., LEYS, D., FURBY, A., DE REUCK, J. L., DAEMS, C., RONDEPIERRE, P., DEBACHY, B., DELEUME, J.-F. et DESAULTY, A., 1995 : "Psychoacoustical Deficits Related to Bilateral Subcortical Hemorrhages : a Case with Apperceptive Auditory Agnosia", *Cortex*, vol. XXXI, p. 149-159.
- GOODGLASS, H. et CALDERON, M., 1977 : "Parallel Processing of Verbal and Musical Stimuli in Right and Left Hemispheres", *Neuropsychologia*, vol. XV, p. 397-407.
- GOODGLASS, H. et KAPLAN, E., 1972 : *The Assessment of Aphasia and Related Disorders*, Philadelphie, Lea and Febiger.
- GRIFFITH, T., REES, A., WITTON, C., CROSS, P., SHAKIR, R. A. et GREEN, G., 1997 : "Spatial and Temporal Auditory Processing Deficits Following Right Hemisphere Infarction : a Psychophysical Study", *Brain*, vol. CXX, p. 785-794.
- HÉBERT, S. et PERETZ, I., 1997 : "Recognition of Music in Long-Term Memory : Are Melodic and Temporal Patterns Equal Partners?", *Memory & Cognition*, vol. XXV, p. 518-533.
- HENSCHEN, S. E., 1926 : "On the Function of the Right Hemisphere of the Brain in Relation to the Left in Speech, Music and Calculation", *Brain*, vol. XLIX, p. 110-123.

- JONES, M. R. et BOLTZ, M., 1989 : "Dynamic Attending and Responses to Time", *Psychological Review*, vol. XCVI, p. 459-491.
- KIMURA, D., 1964 : "Left-Right Differences in the Perception of Melodies", *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, vol. XVI, p. 355-358.
- KRUMHANSI, C. L., 1990 : *Cognitive Foundations of Musical Pitch*, Oxford, Oxford University Press.
- LAIGNEL-LAVASTINE, M. et ALAJOUANINE, T., 1921 : "Un cas d'agnosie auditive", *Revue neurologique*, vol. XXXVII, p. 194-198.
- LERDAHL, F. et JACKENDOFF, R., 1983 : *A Generative Theory of Tonal Music*, Cambridge, MIT Press.
- LIÉGEAIS-CHAUVEL, C., PERETZ, I., BABAÏ, M., LAGUITTON, V. et CHAUVEL, P., 1998 : "Contribution of Different Cortical Areas in the Temporal Lobes to Music Processing", *Brain*, vol. CXXI, p. 1853-1867.
- LURIA, A., TSVETKOVA, I. S. et FUTER, J., 1965 : "Aphasia in a Composer", *Journal of Neurological Science*, vol. II, p. 288-292.
- MARIN, O. S. M., 1982 : "Neurological Aspects of Music Perception and Performance", in *The Psychology of Music*, D. Deutsch (éd.), New York, Academic Press, p. 453-478.
- MILLER, L. K., 1989 : *Musical Savants. Exceptional Skill in the Mentally Retarded*, Hillsdale, Erlbaum.
- MILNER, B., 1962 : "Laterality Effects in Audition", in *Interhemispheric Relations and Cerebral Dominance*, V. Mouncastle (éd.), Baltimore, John Hopkins Press.
- PENFIELD, W. et PEROT, P., 1963 : "The Brain's Record of Auditory and Visual Experience", *Brain*, vol. LXXXVI, p. 595-696.
- PERETZ, I., 1990 : "Processing of Local and Global Musical Information in Unilateral Brain-Damaged Patients", *Brain*, vol. CXIII, p. 1185-1205.
- PERETZ, I., 1993a : "Auditory Agnosia : A Functional Analysis", in *Thinking in Sound. The Cognitive Psychology of Human Audition*, New York, Oxford University Press, p. 199-230.
- PERETZ, I., 1993b : "Auditory Atonia for Melodies", *Cognitive Neuropsychology*, vol. X, p. 21-56.
- PERETZ, I., 1994 : "Les Agnosies auditives", in *Neuropsychologie humaine*, S. McAdams et E. Bigand (éd.), Liège, Mardaga, p. 205-216.
- PERETZ, I., 1996 : "Can We Lose Memories for Music ? The Case of Music Agnosia in a Non Musician", *Journal of Cognitive Neurosciences*, vol. VIII, n° 6, p. 481-496.
- PERETZ, I. et BABAÏ, M., 1992 : "The Role of Contour and Intervals in the Recognition of Melody Parts : Evidence from Cerebral Asymmetries in Musicians", *Neuropsychologia*, vol. XXX, n° 3, p. 277-292.
- PERETZ, I., BELLEVILLE, S. et PONTAINE, F.-S., 1997 : "Dissociations entre musique et langage après atteinte cérébrale : un nouveau cas d'amusie sans aphasie", *Journal canadien de psychologie expérimentale*, vol. LI, n° 4, p. 354-367.
- PERETZ, I. et GAGNON, L., 1999 : "Dissociation Between Recognition and Emotional Judgment for Melodies", *Neurocase*, vol. V, p. 21-30.

- PERETZ, I., GAGNON, L. et BOUCHARD, B., 1998 : "Music and Emotion : Perceptual Determinants, Immediacy and Isolation after Brain Damage", *Cognition*, vol. LXVIII, p. 111-141.
- PERETZ, I. et KOLINSKY, R., 1993 : "Boundaries of Separability Between Melody and Rhythm in Music Discrimination : A Neuropsychological Perspective", *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, vol. XLVI, p. 301-325.
- PERETZ, I., KOLINSKY, R., TRAMO, M., LABRECQUE, R., HUBLET, C., DEMEURISSE, G. et BELLEVILLE, S. : 1994 : "Functional Dissociations Following Bilateral Lesions of Auditory Cortex", *Brain*, vol. CXVII, p. 1283-1301.
- PERETZ, I. et MORAIS, J., 1988 : "Determinants of Laterality for Music : Toward an Information Processing Account", in *Handbook of Dichotic Listening : Theory, Methods and Research*, K. Hugdahl (éd.), New York, J. Wiley, p. 284-323.
- PERETZ, I. et MORAIS, J., 1989 : "Music and Modularity", *Contemporary Music Review*, vol. IV, p. 277-291 ; reproduit dans *Music, Speech and the Developing Brain. The Case of the Modularity of Mind*, C. Faienza (éd.), Milan, Guerini, p. 57-89.
- PETERSEN, S. E., FOX, P. T., POSNER, M. I., MINTUN, M. A. et RAICHLER, M. E., 1988 : "Positron Emission Tomographic Studies of the Cortical Anatomy of Single-Word Processing", *Nature*, vol. CCCXXXI, p. 585-589.
- POSNER, M. et RAICHLER, M., 1994 : *Images of Mind*, New York, Scientific American Library.
- POVEL, D., 1984 : "A Theoretical Framework for Rhythm Perception", *Psychological Research*, vol. XLV, p. 315-337.
- SCHLAUG, G., JÄNCKE, L., HUANG, Y., STAIGER, J. F. et STEINMETZ, H., 1995a : "Increased Corpus Callosum Size in Musicians", *Neuropsychologia*, vol. XXXIII, p. 1047-1055.
- SCHLAUG, G., JÄNCKE, L., HUANG, Y. et STEINMETZ, H., 1995b : "In Vivo Evidence of Structural Brain Asymmetry in Musicians", *Science*, vol. CCLXVII, p. 699-701.
- SERGENT, J., ZUCK, E., TERRIAH, S. et BRENNAN, M., 1992 : "Distributed Neural Network Underlying Musical Sight-Reading and Keyboard Performance", *Science*, vol. CCLVII, p. 106-109.
- SIGNORET, J.-L., VAN ECKHOUT, P., PONCET, M. et CASTAIGNE, P., 1987 : "Aphasie sans amusic chez un organiste aveugle", *Revue neurologique*, vol. CXLIII, p. 172-181.
- SHALLICE, T., 1988 : *From Neuropsychology to Mental Structure*, Cambridge, Cambridge University Press.
- WERNICKE, C., 1874 : "The Symptom Complex of Aphasia. A Psychological Study on an Anatomical Basis", *Boston Studies in the Philosophy of Science*, vol. IV, p. 34-97.
- WIESER, H. G., HUNGERBÜHLER, H., SIEGEL, A. et BUCK, A., 1997 : "Musicogenic Epilepsy : Review of the Literature and Case Report with Ictal Single Photon Emission Computed Tomography", *Epilepsia*, vol. XXXVIII, p. 200-207.
- ZATORRE, R., EVANS A. et MEYER, E., 1994 : "Neural Mechanisms Underlying Melodic Perception and Memory for Pitch", *Journal of Neuroscience*, vol. XIV, p. 1908-1919.
- ZATORRE, R., HALPERN, A., PERRY, D., MEYER, E. et EVANS A., 1996 : "Hearing in the Mind's Ear : a PET Investigation of Musical Imagery and Perception", *Journal of Cognitive Neuroscience*, vol. VIII, p. 29-46.