

Article original

Vers une rééducation cognitive de l'amusie Cognitive rehabilitation of amusia

A. Weill-Chounlamountry^a, L. Soyez-Gayout^a,
C. Tessier^{a,b}, P. Pradat-Diehl^{a,b,c,*}

^a Service de médecine physique et de réadaptation, groupe hospitalier Pitié-Salpêtrière, AP-HP,
47, boulevard de l'hôpital, 75651 Paris, France

^b U 731, Inserm, 75013 Paris, France

^c UPMC, UMR S 731, université Pierre-et-Marie-Curie Paris-6, 75013 Paris, France

Reçu le 28 mars 2008 ; accepté le 31 mars 2008

Résumé

Introduction. – Le modèle cognitif du traitement de la musique propose un fonctionnement modulaire qui met en évidence deux voies principales de traitement du message musical, une voie mélodique et une voie temporelle, permettant l'accès à la reconnaissance de la musique. Il révèle, en outre, un traitement spécifique de l'encodage tonal de la hauteur qui n'est commun avec aucun autre système cognitif, pas même celui du langage. À notre connaissance, la prise en charge rééducative d'un trouble amusique n'a pas encore été rapportée.

Objectif. – Nous présentons une prise en charge thérapeutique inspirée des travaux réalisés de la thérapie de la surdité verbale pour vérifier si une rééducation spécifique à l'aide de la discrimination de mélodies peut permettre la régression de l'amusie.

Méthode. – Nous rapportons l'étude d'un patient présentant une amusie réceptive acquise depuis quatre ans. L'analyse de son déficit amusique à l'aide d'une batterie spécifique (la MBEA) a montré une atteinte de la voie mélodique sans atteinte de la voie temporelle en se référant au modèle cognitif de Peretz. Une rééducation informatisée a été réalisée. Elle était basée sur des entraînements de discrimination de mélodies, en utilisant une procédure d'apprentissage sans erreur avec indigage visuel estompé progressivement.

Résultats. – Après la thérapie, une amélioration des différents composants et du score global de la MBEA a été notée et n'était pas expliquée par une récupération spontanée puisque nous étions à plusieurs années de l'accident neurologique. L'effet se maintenait sept mois après la rééducation. Le transfert en vie quotidienne n'avait pas été testé systématiquement, mais le patient a pu reprendre l'écoute de la musique qu'il aimait.

Conclusion. – Cette étude montre la possibilité de rééducation des déficits amusiques.

© 2008 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Abstract

Introduction. – The cognitive model of music processing has a modular architecture with two main pathways (a melody pathway and a time pathway) for processing the musical “message” and thus enabling music recognition. It also features a music-specific module for tonal encoding of pitch which stands apart from all other known cognitive systems (including language processing). To the best of our knowledge, rehabilitation therapy for amusia has not yet been reported.

Objective. – We developed a therapeutic method (inspired by work on word deafness) in order to determine whether specific rehabilitation based on melody discrimination could prompt the regression of amusia.

Method. – We report the case of a patient having developed receptive, acquired amusia four years previously. His tone deafness disorder was assessed using the Montreal Battery of Evaluation of Amusia (MBEA), which revealed impairment of the melody pathway but no deficiency in the time pathway. A computer-assisted rehabilitation method was implemented; it used melody discrimination tasks and an errorless learning paradigm with progressively fading visual cues.

Results. – After therapy, we noted an improvement in the overall MBEA score and its component subscores which could not be explained by spontaneous recovery (in view of the number of years since the neurological accident). The improvement was maintained at seven months post-

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : pascale.pradat@psl.aphp.fr (P. Pradat-Diehl).

therapy. Although post-therapy improvement in daily life was not systematically assessed, the patient started listening to his favourite music again.

Conclusion. – Specific amusia therapy has shown efficacy.

© 2008 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots clés : Amusie ; Rééducation cognitive ; Apprentissage sans erreur ; Rééducation informatisée ; AVC

Keywords: Amusia; Cognitive rehabilitation; Errorless learning; Computerized rehabilitation; Stroke

1. Introduction

L'amusie acquise se définit par la perte ou le dysfonctionnement des capacités musicales suite à une lésion cérébrale. Hébert et Peretz [7] la définissent comme un trouble acquis de la perception et/ou de la production musicale et de la perte des aptitudes musicales. Ainsi, en parallèle avec les déficits du langage, les amusies peuvent être expressives, s'il s'agit de difficultés à ne plus pouvoir produire de la musique, par une incapacité de chanter, de jouer d'un instrument ou d'écrire de la musique si ces compétences étaient prémorbides ; elles peuvent être réceptives, si les déficits se manifestent par une incompétence acquise à percevoir la musique, à reconnaître une musique connue ou à mémoriser des mélodies nouvelles.

Ainsi, si nous ne naissons pas amusique congénital [17] (5 à 15 % de la population), nous sommes tous prompts à chanter un air connu, à fredonner un air entendu, à reconnaître une mélodie familière sans pour autant avoir reçu une éducation musicale spécifique nous permettant toutes ces facultés, qui somme toute nous semblent naturelles. Si durant cette dernière décennie, la description des processus musicaux et de l'amusie [20] commence à se préciser, celle de la prise en charge rééducative d'un trouble amusique n'a pas encore, à notre connaissance, été rapportée. Il va de soi, que ce sont les dernières avancées sur la compréhension des mécanismes cognitifs de l'amusie qui peuvent permettre aux thérapeutes de tenter de prendre en charge ce déficit qui peut s'avérer très invalidant pour ceux qui en sont atteints. Les travaux concernant les différents déficits cognitifs sont nombreux et l'aspect modulaire du langage est actuellement reconnu comme modèle de référence. Il semble que la musique réponde à ce même type de fonctionnement modulaire [9,16,18,20] avec notamment un traitement spécifique à l'encodage tonal de la hauteur [21] qui n'est commun avec aucun autre système cognitif, pas même celui du langage.

1.1. Modèle cognitif

Peretz et Coltheart [18] décrivent le modèle musical (Fig. 1) par le traitement d'un message musical en deux voies parallèles mais indépendantes l'une de l'autre. L'une décrypte les composantes mélodiques et l'autre, les composantes temporelles. Lorsque ces deux composantes sont intègres, il y a une activation du répertoire (qui pourrait correspondre au traitement sémantique dans les modèles du langage), sorte d'encyclopédie musicale que chaque individu se construit tout au long de sa vie au fil des écoutes de mélodies, quelles qu'elles soient. Ensuite, ce répertoire activerait d'autres sous-systèmes qui varieraient en fonction de la tâche à réaliser (trouver le titre d'un morceau entendu, répéter une mélodie...) pour lesquels les voies

empruntées seraient identiques à d'autres processus cognitifs largement décrits (dénomination...). Les données récentes de la recherche sur la cognition de la musique proposent l'existence d'un mécanisme dédié au domaine musical, basé lui-même sur une architecture neuronale spécialisée [14,15,17] dans lequel le système responsable de l'encodage tonal de la hauteur tient lieu de module spécifique (Fig. 1).

Peretz et Coltheart [18] précisent que ce modèle est universel et qu'il peut donc être utilisé pour des mélodies familières ou non. Il est bien entendu, dans le cas de mélodies nouvelles, qu'il ne peut y avoir d'activation du répertoire au même titre que lorsqu'un sujet répète un non mot, il n'active pas non plus le système sémantique.

Une altération d'une seule de ces deux voies suffit à empêcher l'accès à la reconnaissance de la mélodie. Le rythme et la mélodie sont donc indissociables : l'aspect déficitaire de l'un de ces composants suffit donc à altérer la reconnaissance musicale, comme le rapporte un certain nombre d'études faites sur des patients cérébro-lésés [1,10,12,13].

Une des deux voies de traitement est la « voie mélodique ». La reconnaissance d'une ligne mélodique fait essentiellement appel à trois sortes de dispositifs : le contour, l'intervalle et le degré d'échelle (encodage tonal). Chaque morceau de musique possède une tonalité, qui détermine la note la plus « stable » ou la note de référence du morceau, appelée « tonique » autour de laquelle d'autres notes vont être jouées. Le « contour » se définit comme la variation de la hauteur des notes par rapport à la note référente, dite tonique. « L'intervalle » est l'éloignement entre deux hauteurs de notes qui se succèdent. « L'échelle » est fonction de la tonalité et du mode qui déterminent le degré de chaque note par rapport à la tonique. Le Ré est le deuxième degré par rapport au Do, le Mi le troisième, et ainsi de suite en montant dans la gamme. Le mode – majeur ou mineur – peut suggérer la perception de l'univers joyeux ou au contraire triste d'une mélodie. La reconnaissance des émotions musicales est liée à des sous-systèmes jouant un rôle dans la reconnaissance de la mélodie. Lors de lésions cérébrales, il a déjà pu être observé que la reconnaissance des émotions musicales pouvait être conservée tandis que la reconnaissance de cette même mélodie était chutée [5]. À l'inverse, la musique peut aisément être reconnue malgré les changements de mode et de tempo car le mode et le tempo ne sont pas discriminants pour la reconnaissance perceptive.

La deuxième voie est la « voie temporelle ». La perception exacte du rythme de séquences musicales implique l'intégrité de deux types d'organisation temporelle : la segmentation de la mélodie en groupes temporels fondés sur la durée des notes, et la régularité, ou battement, de la mélodie. La « métrique » fait référence à l'organisation temporelle des notes les unes par

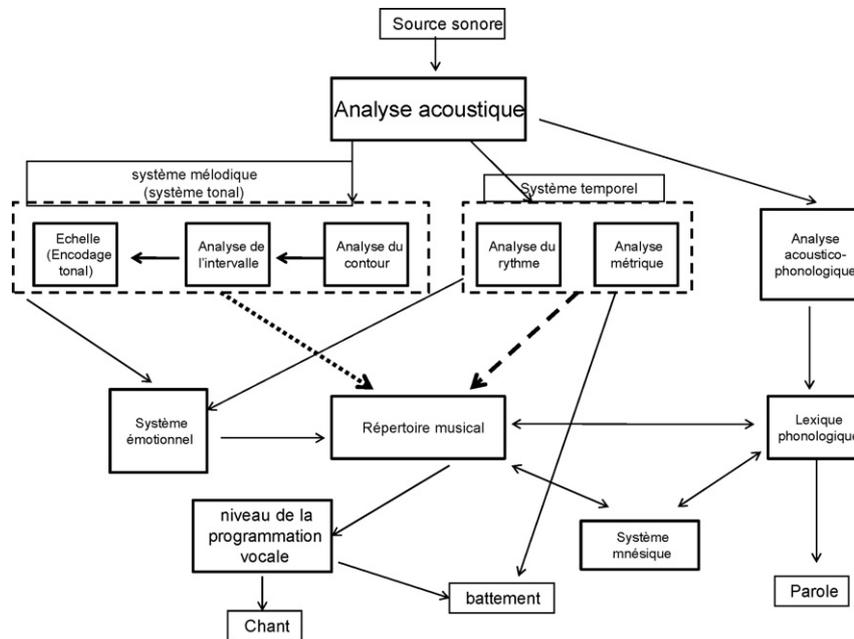


Fig. 1. Schéma cognitif des processus entre les composants impliqués dans la reconnaissance de la musique d'après Peretz I, Coltheart M, 'Modularity of music processing', 2003. [18].

rapport aux autres au sein d'un groupe rythmique, sans considération de périodicité. Le « tempo » est la régularité, l'organisation métrique, correspondant à une alternance de temps « forts » et de temps « faibles », le temps fort étant généralement celui donnant l'impulsion du battement du pied sur le sol.

Le répertoire est le système de représentation permettant la reconnaissance musicale. Celui-ci peut être scindé en deux parties : l'accès aux « représentations de surface » [17], ou capacités de mémorisation des musiques populaires ; l'accès aux « représentations abstraites », c'est-à-dire à la reconnaissance de mélodies ayant subi des changements de tonalités, des changements d'instruments ou des changements de tempo. L'existence d'un module spécifique du répertoire a été montrée par Eustache et al. [3] et par Peretz [11] induisant donc la présence d'un système de la mémoire spécifique à la musique.

Afin d'évaluer les déficits amusiques des patients, Peretz a élaboré la « Montreal Battery of Evaluation of Amusia » (MBEA) [19] composée de six épreuves, chacune testant les modalités différentes du modèle : la voie mélodique par l'échelle, le contour, et l'intervalle ; la voie temporelle par le rythme et la métrique ; ainsi que la fonction mnésique. Cette batterie utilise trente phrases musicales originales composées au piano et modifiées en fonction des modalités à tester. Elle est normalisée auprès de 160 adultes non amusiques, dont 62 femmes et 98 hommes âgés de 14 à 79 ans de niveau culturel allant du niveau socioculturel 3 à 7.

1.2. Rééducation

A notre connaissance, il n'existe pas d'étude qui se soit consacrée à la rééducation de l'amusie, alors qu'il s'agit d'une réelle gêne dans la vie quotidienne provoquant un « préjudice d'agrément ». L'approche de cette rééducation peut s'appa-

renter à celle pratiquée pour d'autres troubles auditifs d'origine neurologique centrale. Dans une étude précédente ciblée sur la rééducation de la surdité verbale [26,28,29], nous avons fait l'hypothèse qu'un travail spécifique à un stade très précoce de l'analyse du message auditif (discrimination et reconnaissance des phonèmes) permettrait d'améliorer la compréhension du langage oral. Nous avons eu recours à un logiciel spécifique, Airtac [27] qui propose des exercices de discrimination ou d'identification de sons non-verbaux et/ou verbaux. Nous avons utilisé cette prise en charge auparavant chez des patients présentant des troubles auditifs d'origine centrale associés ou non à une aphasie. Une de ces patientes [29] présentait une surdité verbale. Nous avons réalisé un bilan Airtac précisant ses capacités auditives résiduelles (discrimination et identification de phonèmes) objectivant les phonèmes pour lesquelles la patiente présentait des difficultés. Ceux-ci ont été spécifiquement entraînés avec la méthode de l'apprentissage sans erreur d'Airtac. Ce logiciel permet de mener le patient à la réponse correcte par l'intermédiaire d'indices visuels présentés en même temps que l'émission sonore des phonèmes à entraîner, avec un estompage progressif des indices au fil des réussites des patients. Au terme de 12 séances, les performances en discrimination et identification de phonèmes s'étaient normalisées, montrant l'efficacité d'une prise en charge par ce type de procédure. Outre l'effet spécifique sur l'intégration auditive phonémique de cette thérapie, les traitements de plus hauts niveaux se sont également améliorés, et ont pu être démontrés par l'amélioration de la compréhension orale de la patiente.

L'intérêt de l'apprentissage sans erreur dans les techniques de rééducation au détriment des méthodes essai/erreur, qui peuvent avoir comme inconvénient de renforcer les productions incorrectes au lieu de les amoindrir, a été montré dans plusieurs études [24]. La méthode de l'apprentissage sans erreur consiste à contrôler les productions du patient en réduisant ses erreurs le

plus possible par l'intermédiaire de modes de facilitation. Elle a été décrite comme étant plus efficace que la thérapie *effortful* chez les patients amnésiques [6,8,30]. L'efficacité de la rééducation sans erreur a été décrite chez les patients aphasiques [4], plus particulièrement pour la prise en charge de l'anomie, mais également pour la prise en charge de la surdité verbale pour la rééducation de la discrimination de phonèmes. Les modes de facilitation visuelle vont décroissant au fil des étapes afin d'éviter la production d'erreurs [22], pour parvenir à l'étape finale où elles ne sont plus présentes.

« Les objectifs de cette étude » étaient de décrire avec une méthodologie d'étude de cas unique l'analyse cognitive d'une amusie, ainsi que la création et l'évaluation d'une rééducation expérimentale spécifique de l'amusie.

2. Présentation du patient

SA, 59 ans, droitier, de 17 années d'études, dirigeant de banque, a été victime d'une méningite à méningocoque. Il a été hospitalisé pour un tableau de coma vigile fébrile et un syndrome méningé. Le lendemain de son hospitalisation, le tableau neurologique avait régressé, mais il subsistait une surdité bilatérale. Une semaine plus tard, la cophose s'est levée pour partie pour l'oreille droite, avec une perte de 50 décibels (dB), alors que l'oreille gauche demeurait cophotique. L'IRM ne montrait aucune lésion cérébrale expliquant ces déficits auditifs. Deux ans après, la surdité de SA n'avait pas régressé et SA ne parvenait pas à s'habituer à sa prothèse auditive. L'examen audiométrique (Fig. 2) révélait la persistance de la cophose pour l'oreille gauche et une surdité de perception de

l'oreille droite avec une perte de -50 dB sur l'oreille nue, ainsi que le bénéfice d'un gain prothétique de 21,66 dB. L'audition à intensité faible-moyenne était notée comme subnormale permettant à SA de percevoir la parole à faible intensité avec la prothèse auditive. Aucun potentiel évoqué auditif n'avait été réalisé dans le service hospitalier d'origine.

La suspicion d'un déficit central associé au trouble périphérique a conduit à envisager une évaluation plus spécifique. Cliniquement, les plaintes de SA s'apparentaient plus à une difficulté de type central que perceptif. Il se plaignait, même avec la correction prothétique, de percevoir la parole sans parvenir à la comprendre. SA ne pouvait plus aller au cinéma, regarder la télévision ou même aller au restaurant avec des amis. Le bilan d'aphasie [2] mettait en évidence une dissociation de performances entre les épreuves nécessitant le décodage d'informations orales (compréhension orale, répétition, transcription sous dictée), et celles dont le décodage nécessitait le recours au langage écrit, en faveur de ces dernières, sans trouble aphasique, ce qui caractérisait une surdité verbale. Afin de compléter ces résultats, un bilan Airtac [27] lui fut proposé, combinant des épreuves d'identification et de discrimination de sons en fonction de l'intensité, de la hauteur et de la durée, ainsi que des épreuves de discrimination et d'identification de phonèmes. Ce bilan révélait un déficit auditif d'origine centrale marqué principalement par un déficit d'intégration de la durée des sons et confirmait la présence d'une surdité centrale qui pouvait en partie expliquer la non habitude à la prothèse auditive. Une épreuve d'identification en choix multiple de bruits familiers lui a été proposée et entraînait des fausses reconnaissances sur 31,5 % des items proposés révélant une agnosie auditive. Une prise en charge spécifique de cette surdité cérébrale au moyen du logiciel Airtac [27] a été proposée. Dix-huit mois plus tard, un nouveau bilan montrait que les processus d'intégration des afférences auditives comme celui de la durée s'étaient améliorés et que la surdité verbale avait régressé. Dès la régression des troubles de la perception du langage oral, SA commença à se plaindre de son incapacité à apprécier la musique après son accident neurologique. Il ne parvenait plus à reconnaître des pièces symphoniques ou autres musiques de chambre qu'il avait pour habitude d'écouter auparavant. Il rapportait même une impression douloureuse à leur écoute ; les ambiances musicales des lieux lui paraissaient cacophoniques et insupportables, à tel point qu'il les évitait. SA ne parvenait pas à identifier une musique qu'il avait auparavant appréciée et qu'il pouvait néanmoins chanter. Nous lui avons proposé une évaluation de ses difficultés musicales à l'aide de la MBEA [19] afin de vérifier si ses difficultés de perception musicale étaient liées à des déficits perceptifs ou plus centraux.

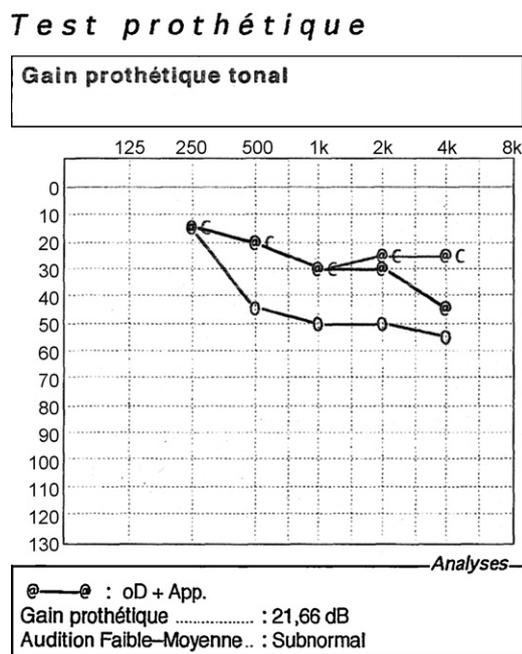


Fig. 2. Audiogramme tonal de l'oreille droite (oreille gauche cophotique) de SA à deux ans de l'affection neurologique initiale. O— : oreille nue @C— : oreille appareillée Sans prothèse auditive, SA présente une surdité moyenne avec une perte de 50 dB. Avec la prothèse auditive, SA récupère une audition supérieure de 21,66 dB et parvient à atteindre des facultés auditives de meilleure qualité.

2.1. Résultats de l'évaluation cognitive MBEA

La réponse du patient consiste à préciser si les deux mélodies qu'il entend successivement sont identiques ou différentes, sauf pour le sub-test métrique et mémoire.

Les résultats de SA étaient pathologiques en ce qui concerne le score total ainsi que dans les sub-tests explorant les

Tableau 1
Résultats de SA à la première évaluation de la MBEA (scores pathologiques en gras à -2δ)

		Voie mélodique			Voie temporelle		Mémoire	
		Contour	Intervalle	Échelle	Rythme	Métrique	Mémoire	Score global
T1	Total	22/30	19/30	22/30	27/30	23/30	24/30	22,83
	δ	-2,27	-2,92	-2,17	0	-1,38	-1,30	-2,61

T1 correspond à la première évaluation réalisée à 4 mois avant le début de la thérapie.

catégories mélodiques (échelle, contour, et intervalle), mais non dans les sub-tests de catégorie temporelle et de mémoire. La MBEA confirmait la présence d'un trouble de la perception musicale prédominant sur le versant mélodique (Tableau 1).

Pour construire le protocole de rééducation expérimentale, nous avons réalisé une analyse qualitative des difficultés propres à SA grâce aux erreurs de discrimination commises dans la MBEA. Cette analyse a montré que SA repérait plus facilement les notes cibles situées dans la première mesure que celles présentes dans la troisième mesure. Dans chacune des trois épreuves mélodiques, la modification de hauteur de la note mettait SA en échec (et ce, qu'elle fût diminuée ou augmentée d'un demi-ton ou plus). La majorité de ses erreurs se situaient à un tempo de 120 battements par minute (BPM), c'est-à-dire à une vitesse relativement lente. Ce résultat pouvait provenir d'une difficulté du patient à maintenir en mémoire à court terme les informations musicales, rendant la discrimination de mélodies plus difficile. Le patient montrait également plus de difficultés à reconnaître des différences de notes cibles lorsque les mélodies étaient en mode majeur.

Pour conclure, SA présentait une amusie de type réceptif avec une préservation du versant expressif ainsi que du répertoire. Les difficultés amusiques concernaient surtout l'altération de la voie mélodique alors que la voie temporelle était relativement préservée.

3. Description du protocole de rééducation

3.1. Matériel

3.1.1. Support musical

Nous avons construit des exercices musicaux en fonction des déficits de la voie mélodique objectivés par le bilan, en tenant compte des goûts musicaux du patient. SA aimait écouter de la musique baroque. En conséquence, nous avons choisi de travailler sur les « variations Goldberg » de J.-S. Bach. Ces mélodies, au nombre de 30, jouées au piano, permettent de reproduire les modifications nécessaires à l'entraînement. En outre, les variations Goldberg sont peu denses en notes, et sont le plus souvent composées de deux lignes mélodiques, voire parfois d'une seule. Les mélodies ainsi sélectionnées pour la création du protocole n'étaient donc pas trop fournies en notes, donc plus facilement analysables.

L'analyse des résultats des erreurs à la MBEA de SA nous a permis de sélectionner les critères à retenir pour la création des mélodies du protocole de rééducation. Nous avons préféré écarter les difficultés qui n'étaient pas sous l'influence de l'encodage tonal de la hauteur et celles qui n'étaient pas

homogènes. Ensuite, pour éviter tout artéfact de multiplicité de difficultés, nous avons choisi de positionner la note modifiée dans les premières mesures et de ne pas utiliser un tempo trop ralenti pour créer deux types d'exercices : entraînement de la dissonance avec lequel SA devait discriminer une mélodie juste d'une mélodie fausse (comportant une fausse note par rapport à la mélodie juste) et un entraînement de la tonalité avec lequel SA devait discriminer une mélodie en mode mineur d'une mélodie en mode majeur.

Les mélodies ont été créées à l'aide de Quartz AudioMaster, qui est un logiciel libre de droits de création musicale.

3.2. Création de dissonance au sein d'une mélodie

Une note au sein d'une même mélodie a été modifiée sur le même principe que la MBEA pour la création de l'entraînement de la dissonance. Vingt-cinq groupes mélodiques – appartenant chacun à une variation Goldberg – de trois ou quatre mesures chacun ont été sélectionnés. Ces groupes ont été choisis car ils représentent une simplicité de l'écriture musicale avec une, voire deux lignes mélodiques au maximum. La note modifiée était augmentée de un à trois tons, les fréquences aiguës étant plus difficiles à identifier pour SA.

3.3. Création de tonalités différentes par mélodie

Cet exercice a été créé pour entraîner SA à percevoir les modifications des modes majeur ou mineur d'une mélodie. Nous avons repris les mêmes groupes mélodiques que pour l'exercice de discrimination de dissonance. Les « variations Goldberg » étant presque toutes composées en Sol majeur, un travail de modification de toutes les mélodies a été entrepris pour présenter au patient des mélodies dont les tonalités soient variées. Une mélodie en Sol majeur a été transposée – c'est-à-dire que sa tonalité a été modifiée sans changer pour autant la ligne mélodique, le rythme ou le tempo – en Mi mineur. Puis, une autre a été modifiée en Do majeur puis en La mineur et ainsi de suite pour les 23 autres mélodies.

3.4. Validation des items présentés à SA

Les items utilisés en rééducation ont été sélectionnés parmi les 25 variations modifiées pour la dissonance et la tonalité et ont été testés auparavant dans une population témoin de 25 adultes de 20 à 45 ans et chez quatre sujets appariés en âge et en niveau d'études. Dans l'épreuve de jugement de dissonance, nous avons identifié sept variations pour lesquelles la moyenne de réussite était supérieure à 75 % pour les sujets appariés et à

80 % pour les sujets contrôles, et 11 variations pour lesquelles la moyenne de réussite atteignait 50 % pour les sujets appariés et 60 % pour les sujets témoins.

L'épreuve de discrimination de tonalité a été perçue par les sujets appariés et les sujets contrôles comme étant la plus fastidieuse des deux épreuves. Nous avons sélectionné les sept mélodies réussies au moins à 75 % par les sujets appariés et au moins à 80 % par les sujets témoins.

3.5. Procédure de rééducation

Nous avons utilisé la méthode d'apprentissage sans erreur pour les trois thérapies avec un estompage progressif des systèmes visuels d'aides. Les mélodies originales ainsi que les mélodies modifiées ont été intégrées à un système informatique reproduisant la procédure du logiciel AIRTAC, avec laquelle la surdité verbale de SA avait été améliorée, en conservant le support matériel et les procédures d'estompage progressif des indicateurs qu'apporte AIRTAC.

Deux types d'exercices ont été proposés.

3.5.1. Discrimination de mélodies dissonantes

La méthode consiste en un exercice de discrimination de deux mélodies, dont l'une est dissonante, et l'autre non. Comme pour AIRTAC, il nous fallait utiliser des systèmes de facilitation en ayant recours à des indices visuels. Par exemple, la première mélodie, dénommée « a », est jouée par l'ordinateur. Sa représentation visuelle clignotante, « Ja » s'affiche simultanément à l'écran où le « J » signifie que la phrase musicale possède une mélodie juste. Lorsqu'il s'agit de la version modifiée, elle apparaît comme « Fa » où le « F » indique que la phrase musicale possède une note fautive. De cette manière, l'indice visuel signale si la mélodie jouée simultanément est de sonorité juste ou fautive. Au fil des exercices, l'indicateur visuel s'estompe progressivement pour laisser place en dernière étape à la discrimination finale à l'aide des signes = ou ≠.

3.5.2. Discrimination de tonalités

L'exercice de discrimination de tonalité est présenté à SA de la même façon. Par exemple, la mélodie « a », en Sol majeur (aM), est opposée à sa transposition en Mi mineur (am). La difficulté de l'exercice réside dans le fait que les deux mélodies ainsi confrontées possèdent exactement la même ligne mélodique, le même rythme et les mêmes différences de hauteurs entre les notes.

3.6. Procédure de discrimination

À la suite de l'écoute consécutive des deux mélodies, SA devait juger si les elles étaient identiques ou non. Au départ, l'écran était partagé en trois fenêtres : dans la fenêtre de gauche s'affichait la représentation de la première mélodie (Jd) ; dans la fenêtre de droite, s'affichaient les représentations de la première mélodie (Jd), et de la mélodie modifiée (Fd), et la fenêtre centrale ne comprenait que les signes = ou ≠. Il existait quatre étapes durant lesquelles l'estompage des indices était

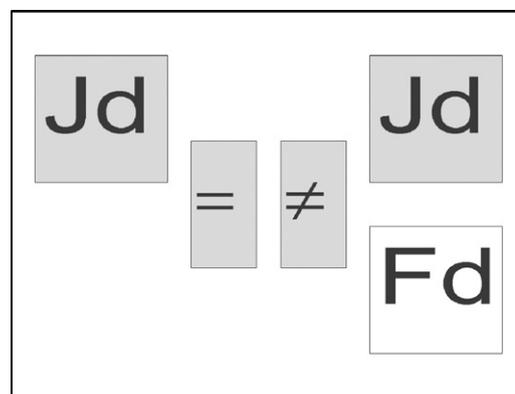


Fig. 3. Impression d'écran de la discrimination de dissonance : indicage immédiat. À la première étape, la représentation visuelle de la première mélodie clignote simultanément à son émission sonore, puis la seconde représentation fait de même dans la fenêtre de droite alors que son émission sonore est émise. Dans cet exemple, « Fd » clignote et est donc différente de la première mélodie entendue « Jd ».

progressif. Dans la première étape (Fig. 3), la représentation visuelle de la première mélodie clignotait simultanément à son émission sonore, puis la seconde représentation faisait de même dans la fenêtre de droite alors que son émission sonore était jouée. SA devait montrer quelle était la seconde mélodie jouée. Si elle était identique, il montrait alors (Jd) à l'aide de la souris, si elle était différente il devait montrer alors (Fd). À ce stade, SA ne faisait que suivre les indications du logiciel grâce au clignotement simultané des items. Lors de la seconde étape (Fig. 4), le clignotement n'apparaissait qu'après un léger délai, et le déroulement se poursuivait alors à l'identique de la première à la différence qu'il n'existait plus de clignotement pour la seconde mélodie. À la troisième étape (Fig. 5), seule la représentation de la première mélodie apparaissait dans la fenêtre de gauche, les représentations visuelles de la fenêtre de droites étaient absentes et seuls les signes = ou ≠ étaient les réponses possibles, il n'y avait plus à ce stade aucun clignotement comme indice simultané à l'émission sonore. Dans la dernière étape (Fig. 6), aucune représentation n'était présente, seuls les signes = ou ≠ apparaissaient isolément au

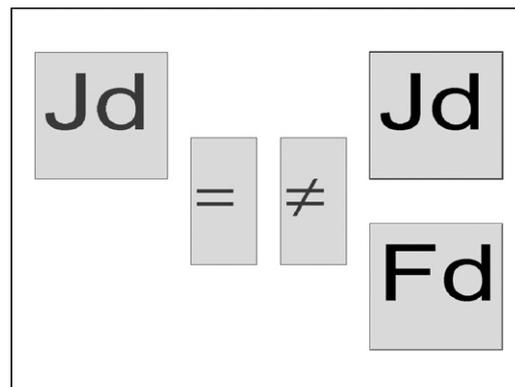


Fig. 4. Impression d'écran de la discrimination de dissonance : indicage après un délai. Lors de la seconde étape, la représentation visuelle de la première mélodie clignote simultanément à son émission sonore, mais l'indicateur se réduit puisque la seconde représentation apparaît statiquement dans la fenêtre de droite alors que son émission sonore est émise.

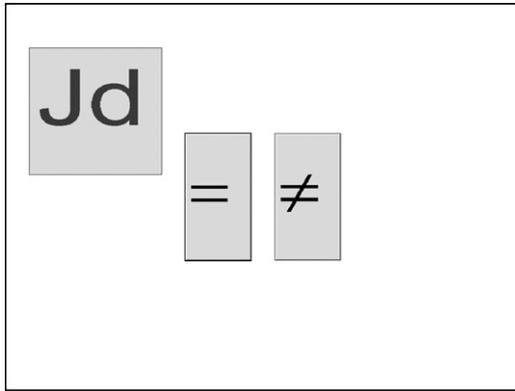


Fig. 5. Impression d'écran de la discrimination de dissonance : indiçage réduit. À la troisième étape, seule la représentation de la première mélodie apparaît dans la fenêtre de gauche, les représentations visuelles de la fenêtre de droites sont absentes et seuls les signes = ou ≠ sont les réponses possibles, il n'y a à ce stade plus aucun clignotement comme indice simultané à l'émission sonore.

centre de l'écran. Les deux mélodies étaient jouées consécutivement et SA devait répondre en désignant à l'aide de la souris, si les deux mélodies entendues étaient identiques ou non.

Le passage à une étape ultérieure s'effectuait automatiquement après réussite à l'étape entraînée. En cas d'échec, la même étape était répétée.

3.7. Déroulement de la rééducation expérimentale

Il s'agit d'une étude de cas unique où le patient était son propre contrôle. Le patient a donné son consentement concernant la réalisation de cette étude en accord avec la déclaration d'Helsinki. Une conception expérimentale de paradigme temporel a été appliquée. Nous avons comparé les performances de SA à différentes périodes successive de la thérapie selon un schéma AB, où A se rapporte à la période de thérapie, et B se rapporte à la période sans thérapie. La rééducation expérimentale a commencé quatre ans après l'affection neurologique initiale. SA a bénéficié de deux séances de 45 minutes par semaine pendant une durée de cinq mois. La thérapie a débuté par la discrimination de la

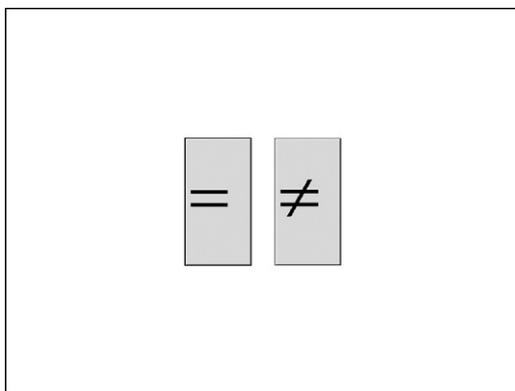


Fig. 6. Impression d'écran de la discrimination de dissonance : aucun indiçage. Dans la dernière étape, seuls les signes = ou ≠ apparaissent isolément au centre de l'écran. Les deux mélodies sont jouées consécutivement.

dissonance (dix séances), puis s'est poursuivi par la discrimination de la tonalité (dix séances). Enfin, une nouvelle thérapie de la discrimination de la dissonance (dix séances) a été de nouveau entreprise en affinant les différences de dissonance.

Une première évaluation a été réalisée quatre mois avant le début de la thérapie (T1). L'intervalle libre étant de quatre ans par rapport à l'affection initiale, nous n'avons pas réalisé de seconde évaluation préthérapeutique, le délai de récupération spontané étant dépassé. Puis, au terme de chaque session des dix séances de discrimination de mélodies dissonantes ou de discrimination de tonalités, une nouvelle évaluation a été réalisée (T2, T3, T4). Enfin, deux évaluations post-thérapeutiques ont été réalisées, respectivement cinq semaines après (T5), sept mois après la fin de la thérapie (T6) pour s'assurer du maintien des résultats à distance.

Nous avons évalué les performances des capacités musicales de SA à l'aide de la MBEA à chaque évaluation, soit six fois, et considéré comme pathologiques des scores inférieurs ou égaux à -2δ en-dessous des normes de la batterie. Un traitement statistique des données n'était pas possible, nous avons alors basé la description de l'effet de la rééducation sur la normalisation des scores par rapport à ce score pathologique. La MBEA pouvait être réutilisée pour mesurer l'évolution des performances après récupération et thérapie, car une évaluation de l'effet test-retest de la MBEA a démontré qu'elle demeurait sensible pour des évaluations ultérieures [19]. Nous l'avons donc utilisé systématiquement afin de nous assurer de l'efficacité et de la spécificité de cette rééducation [25].

À T1 et à T4, afin de confirmer la spécificité de la prise en charge par une modalité qui n'est pas traitée en rééducation [25], nous avons proposé des épreuves de répétition de syllabes, de mots et de phrases [2]. Le choix des performances de répétition était inhérent aux séquelles auditives centrales de SA et devait donc être le témoin potentiel de la spécificité de cette rééducation. Nous faisons l'hypothèse que les performances de SA à ces épreuves ne devaient pas s'améliorer puisque non entraînées durant cette thérapie.

4. Résultats

Qualitativement, au cours de la thérapie, SA nous a fait part de sa progressive réadaptation à la musique. Même si les premières séances ont été pour lui laborieuses et parfois douloureuses, les suivantes se sont déroulées plus facilement, et SA rapportait de moins en moins de gêne à écouter de la musique, tant au cours des séances de rééducation que dans la vie quotidienne. Il a recommencé à écouter les disques qu'il affectionnait avant son affection neurologique et qu'il n'osait plus écouter depuis quatre ans. Il a pu réécouter avec plaisir les variations Goldberg mais aussi les fugues de Bach, Salieri, Corelli et des œuvres symphoniques de Beethoven, surtout la symphonie n°5 dite de l'Empereur qu'il affectionnait particulièrement. De l'écoute d'un seul instrument, le piano pour les variations Goldberg, il put dès lors réécouter des œuvres plus complexes sur un plan musical et orchestral.

Tableau 2

Résultats de SA de T1 à T6 aux évaluations de la voie mélodique de la MBEA et scores globaux de chaque évaluation. (le score pathologique en gras est fixé à -2δ)

		Voie mélodique			Score global
		Contour	Intervalle	Échelle	
T1	Total	22/30	19/30	22/30	22,83
	δ	-2,27	-2,92	-2,17	-2,61
T2	Total	28/30	21/30	20/30	24,33
	δ	0,45	-2,08	-3,04	-1,67
T3	Total	28/30	22/30	24/30	25,5
	δ	0,45	-1,67	-1,30	-0,94
T4	Total	25/30	24/30	22/30	25,6
	δ	-0,91	-0,83	-2,17	-0,87
T5	Total	26/30	22/30	21/30	25,5
	δ	-0,45	-1,67	-2,61	-0,94
T6	Total	24/30	23/30	24/30	24,33
	δ	-1,36	-1,25	-1,30	-1,67

T1 : première évaluation 4 mois avant le début de la thérapie. Pas de seconde évaluation pré-thérapeutique, le délai de récupération spontanée étant dépassé (4 ans d'intervalle libre). T2 : évaluation après 10 séances d'entraînements à la discrimination de la dissonance 1. T3 : évaluation après 10 séances d'entraînements à la discrimination de la tonalité. T4 : évaluation après 10 séances d'entraînements à la discrimination de la dissonance 2. T5 : évaluation post thérapie (5 semaines). T6 : évaluation post-thérapie (7 mois).

Les résultats rapportés ici ne concernent que les épreuves de la voie mélodique, puisque la thérapie était spécifiquement ciblée sur ces caractéristiques des mélodies travaillées. Les scores de la voie temporelle, qui eux n'étaient pas travaillés en thérapie, ne se sont pas modifiés. (Tableau 2)

AT1, lors de l'évaluation préthérapeutique, les épreuves évaluant la mélodie, « Échelle », « Contour » et « Intervalle » étaient pathologiques. L'épreuve « Rythme » était normale, les sub-tests « Métrique » et « Mémoire » n'étaient pas pathologiques mais se situaient dans une moyenne basse (Tableau 1). Le score global à « $-2,61 \delta$ » confirmait le diagnostic d'amusie. L'épreuve de répétition issue de l'examen d'aphasie [2] révélait un score de 80 % de réussite pour les syllabes, 92 % de réussite pour les mots et 100 % de réussite pour les phrases.

L'efficacité de la thérapie a été évaluée en comparant les résultats de l'évaluation post-thérapeutique immédiate (T4) aux résultats de T1. L'encodage tonal (sub-test « Échelle ») demeurait pathologique ($-2,17 \delta$), mais on notait une amélioration des sub-tests « Intervalle » ($-0,83 \delta$ versus $-2,92 \delta$ à T1) et « Contour » ($-0,91 \delta$ versus $-2,27 \delta$ à T1) qui ne se situaient plus dans la zone pathologique. En outre, le score global de la MBEA ($-0,87 \delta$ versus $-2,61 \delta$ à T1) n'était plus pathologique.

La spécificité de la thérapie a été évaluée en utilisant les épreuves de répétition de la batterie d'aphasie : les scores obtenus à T4 étaient quasiment identiques à ceux obtenus à T1 (84 % de réussite pour les syllabes, 92 % de réussite pour les mots et 100 % de réussite pour les phrases).

Le maintien des résultats de la thérapie à distance a été évalué par deux évaluations réalisées cinq semaines après l'arrêt de la thérapie (T5), puis sept mois après (T6). Les résultats obtenus par SA à T5 étaient similaires par rapport à

T4. A T6, soit sept mois après la thérapie, l'épreuve « Échelle », pathologique à T5 ($-2,61 \delta$) atteignait un score normal ($-1,30 \delta$). Les autres épreuves ainsi que le score global restaient non pathologiques.

4.1. Analyse des différents temps de la rééducation

Pendant dix séances, SA a été spécifiquement entraîné à la discrimination de la dissonance et l'évaluation à T2 montrait une amélioration du sub-test « contour » mais non des autres. Le score global ($-1,67 \delta$) et le sub-test « Contour » ($-0,45 \delta$) s'étaient améliorés et atteignaient des valeurs non pathologiques, alors que les sub-tests « Intervalle » ($-2,08 \delta$) et « Échelle » ($-3,04 \delta$) étaient restés très pathologiques.

Par la suite, dix séances de rééducation axée sur l'entraînement spécifique de la tonalité ont été entreprises : l'évaluation à T3 montrait l'amélioration des sub-tests « Intervalle » et du sub-test « Échelle » conjointement au sub-test « Contour ». Les performances ont donc progressé pour le sub-test « Intervalle » ($-1,67 \delta$) et pour le score global ($-0,97 \delta$). Le sub-test « Échelle » qui n'avait pas progressé et qui demeurait très chuté, était alors devenu non pathologique puisque après l'entraînement spécifique à la tonalité son score atteignait $-1,30 \delta$. À ce stade, il n'existait plus aucun score pathologique.

Enfin, l'entraînement de la dissonance durant dix séances fut repris, avec cette fois-ci des modifications plus fines dans les notes, car il persistait des difficultés persistantes dans l'intégration de l'encodage de la hauteur, soit le sub-test « Échelle », à la suite du premier entraînement à la dissonance T2, nous voulions alors poursuivre une prise en charge spécifique telle qu'elle avait été prévue, même si les résultats de T3 laissaient apparaître une nette amélioration. Lors de l'évaluation à T4, soit après le second entraînement de la dissonance, le sub-test « Contour » ($-0,91 \delta$) restait non pathologique avec une légère baisse toutefois. Le sub-test « Intervalle » ($-0,83 \delta$) s'améliorait en approchant des seuils de la normalité. Néanmoins, le sub-test « Échelle » perdait a priori les bénéfices de l'entraînement précédent puisque son score redevenait quant à lui pathologique avec « $-2,17 \delta$ ». Cependant, malgré cette chute, le score global de la MBEA restait dans une dimension stable non pathologique avec un score de $-0,87 \delta$.

5. Discussion

Nous rapportons un cas d'amusie pour lequel nous avons pu réaliser une analyse cognitive selon le modèle modulaire de traitement de la musique [18] et pour lequel nous avons élaboré une rééducation expérimentale en nous inspirant de nos travaux sur la rééducation de la surdité verbale [28]. L'analyse cognitive de l'amusie de SA montrait une atteinte préférentielle de la voie mélodique, se rapportant essentiellement au versant réceptif avec un trouble plus marqué pour la voie mélodique que pour la voie temporelle. Le fait que l'épreuve « Échelle » fut la plus chutée rejoignait les tableaux cliniques des patients amusiques décrits par Peretz, avec notamment une atteinte plus spécifique

de l'encodage de la hauteur à l'origine de l'amusie de SA. Cette amusie se situait dans un contexte de troubles auditifs associant un trouble périphérique et des déficits centraux. L'atteinte périphérique était certaine associant une avec cophose de l'oreille gauche, et du côté droit une baisse de l'acuité auditive objectivée sur l'audiogramme tonal dont la correction par une prothèse auditive au seuil de -20 db aurait du permettre l'intelligibilité des sons verbaux et musicaux.. Le trouble auditif central associé était caractérisé par une agnosie auditive aux bruits familiers, une surdité verbale intégrant un processus de plus bas niveau, en un déficit de la perception de la durée des sons qui avait déjà été amélioré grâce à un entraînement spécifique [28,29].

Ce trouble avait des répercussions très invalidantes dans la vie quotidienne de SA, avec notamment une incapacité à apprécier ou même seulement écouter de la musique. Cette incapacité avait même conduit SA à éviter tout environnement dans lequel la musique tient une place prépondérante (cinéma, centres commerciaux, rencontres avec des amis...).

À partir de l'analyse cognitive des déficits de SA par la MBEA, nous avons construit un protocole de rééducation de réentraînement spécifique de la voie mélodique déficitaire en créant un exercice appelé « dissonance », répondant aux difficultés de l'encodage tonal de la hauteur et un second exercice appelé « tonalité », concernant les difficultés inhérentes à la perception des modes majeur et mineur. La thérapie a été réalisée selon le principe de l'apprentissage sans erreur, qui avait déjà fait la preuve de son efficacité dans la prise en charge de la surdité centrale [28] et qui avait été efficace pour la surdité verbale de SA. Au terme de la rééducation « dissonance/tonalité/dissonance », la normalisation du score global de la MBEA et de ses composants spécifiques (« Contour » et « Intervalle ») constituent un argument en faveur de l'efficacité globale de cette rééducation de l'amusie.

Dès le premier temps du protocole, grâce au travail spécifique de la discrimination de la dissonance, l'épreuve « Contour » de la MBEA s'est normalisée. Il semble normal que l'épreuve « Intervalle » n'ait guère progressé à ce stade car les difficultés de SA pour décoder ces mélodies concernaient surtout l'intégration des tonalités (mode majeur et mineur) qui n'avaient pas encore été entraînées à T2. Lors de la session suivante (T3), l'entraînement de la discrimination de la tonalité a permis une amélioration de l'épreuve « Échelle », soit de l'encodage tonal, qui était la modalité la plus déficitaire de la MBEA. Dès lors que les exercices de discrimination de la tonalité ont été proposés, les scores globaux de la MBEA se sont eux aussi améliorés, n'objectivant plus de franche amusie.

La question de la stabilité pendant la rééducation peut être discutée. En effet, dès que l'entraînement de la discrimination de la tonalité a été suspendu, les scores à l'épreuve « Échelle » ont régressé de façon notable pour être de nouveau dans des seuils pathologiques. D'une manière générale, les scores obtenus dans toutes les épreuves montraient une certaine fluctuation des performances au terme de chaque session, mais il était incontestable que SA ait recouvré le plaisir de l'écoute

de la musique. Seules les performances à l'épreuve « Contour » étaient restées non pathologiques et stables dès les premières sessions de rééducation et en post-thérapie, montrant l'amélioration de la capacité de jugement de modification d'une note avec un contour mélodique différent.

Une possible généralisation des entraînements et une persistance des effets de la thérapie peuvent être proposées. En effet, la dernière évaluation proposée à sept mois de la dernière thérapie objective une amélioration globale de la MBEA mais aussi de toutes ses modalités en l'absence de toute prise en charge spécifique. Cette amélioration qui s'est poursuivie au-delà de la thérapie spécifique pourrait aussi s'expliquer par le comportement de SA, qui a commencé à réécouter les disques qu'il affectionnait avant son affection neurologique et qu'il n'écoutait plus depuis. On pourrait faire l'hypothèse que cette démarche « écologique » a contribué à poursuivre la levée de l'amusie qui avait débuté à la suite de nos séances, permettant le transfert des acquis dans la vie quotidienne. Cependant, nous n'avons pas réalisé d'étude mesurée du transfert des acquis en vie quotidienne, ce qui aurait permis de valider la qualité de ce transfert des acquis.

Cette prise en charge de l'amusie est spécifique, car les performances stables de la répétition entre T1 et T4 mettent en évidence l'indépendance des exercices du traitement de l'amusie de SA sur ses capacités d'intégration auditive résiduelles. En effet, ses difficultés de répétition n'étaient pas liées à un déficit expressif langagier, mais étaient rapportées à un déficit spécifique de décodage des informations verbales, séquelle de la surdité verbale initiale. Il n'y a donc pas eu d'amélioration globale des déficits auditifs centraux de SA. De plus, la régression des troubles réceptifs de l'amusie, et non de ceux du langage oral, tend à confirmer les hypothèses de l'existence d'une dissociation fonctionnelle entre la musique et le langage proposant donc un système modulaire distinct entre musique et langage [16,18,20].

Les progrès immédiatement observables au terme des sessions ne peuvent être imputables à la récupération spontanée puisque l'intervalle libre était de quatre ans au début de la prise en charge et nous étions bien au-delà de la première année [23]. Par ailleurs, cette distance relativement longue par rapport à l'accident initial n'a pas été un frein à une possible régression des troubles initiaux, car dès qu'une thérapie spécifique de la musique a été proposé, un effet a été observé sur les capacités intégratives de la musique de SA.

La rééducation a permis une régression notable de ces déficits puisque SA a pu de nouveau apprécier les mélodies qu'il s'interdisait d'écouter face au mal-être qu'elles engendraient. Aucune mesure formelle du transfert en vie quotidienne ou en reconnaissance musicale n'a été réalisée, ce qui amène toutefois à émettre une réserve quant à ces résultats purement qualitatifs. Une mesure statistique de l'efficacité d'une telle rééducation aurait sûrement pu permettre de la valider, néanmoins le peu de mesures à notre disposition ne nous a pas permis de la réaliser.

L'autre écueil demeure la reproductibilité de cette prise en charge, puisque nous avons choisi d'utiliser un répertoire propre à SA, nous avons de ce fait limité l'adaptation à tout type

de patient amusique. Néanmoins, elle témoigne de la possibilité de la rééducation d'un tel trouble même si cette dernière s'apparente plus à une rééducation de type expérimental et non systématiquement reproductible.

6. Conclusion

Cette étude révèle que la prise en charge d'une amusie de type réceptif acquise est possible, en se basant sur des modalités, telles que la discrimination et la méthode d'apprentissage sans erreur, déjà validées dans d'autres rééducations de déficits cognitifs acquis. Elle révèle, en outre, l'efficacité de ce type de traitement avec une certaine stabilité à long terme, en mettant en avant un possible transfert des acquis. La distance de l'accident initial du patient n'est pas non plus une contre-indication en soi.

Remerciements

Les auteurs remercient SA pour sa coopération et son implication dans cette recherche et souhaitent exprimer leur gratitude à Mathilde Chevignard, Anne Peskine et Mathilde Oudry pour leurs lectures et commentaires.

Références

- [1] Ayotte J, Peretz I, Rousseau I, Bard C, Bojanowski M. Patterns of music agnosia associated with middle cerebral artery infarcts. *Brain* 2000;123:1926–38.
- [2] Ducarne de Ribaucourt B. Test pour l'examen de l'aphasie. Paris: ECPA; 1989.
- [3] Eustache F, Lechevalier B, Viader F, Lambert J. Identification and discrimination disorders in auditory perception: a report on two cases. *Neuropsychologia* 1990;28:257–70.
- [4] Fillingham J, Sage K, Lambon RMA. Treatment of anomia using errorless learning. *Neuropsychol Rehab* 2006;16:129–54.
- [5] Gagnon L, Peretz I. Mode and tempo relative contributions to "happy-sad" judgments in equitone melodies. *Cognition Emotion* 2003;17:25–40.
- [6] Glisky E. Acquisition and transfer of word processing skill by an amnesic patient. *Neuropsychol Rehab* 1995;5:299–318.
- [7] Hébert S, Peretz I. Are text and tune of familiar songs separable by brain damage? *Brain Cogn* 2001;46:169–75.
- [8] Komatsu S, Mimura M, Kato M, Wakamatsu N, Kashima H. Errorless and Effortful processes involved in the learning of face-name associations by patients with alcoholic Korsakoff's syndrome. *Neuropsychol Rehab* 2000;10:113–32.
- [9] Liegeois-Chauvel C, Peretz I, Babai M, Laguitton V, Chauvel P. Contribution of different cortical areas in the temporal lobes to music processing. *Brain* 1998;121:1853–67.
- [10] Peretz I. Processing of local and global musical information in unilateral brain-damaged patients. *Brain* 1990;113:1185–95.
- [11] Peretz I. Can we lose memories for music? The case of music agnosia in a nonmusician. *J Cogn Neurosci* 1996;8:481–96.
- [12] Peretz I, Gagnon L, Bouchard B. Music and emotion: perceptual determinants, immediacy, and isolation after brain damage. *Cognition* 1998;68:111–41.
- [13] Peretz I, Blood AJ, Penhune V, Zatorre R. Cortical deafness to dissonance. *Brain* 2001;124:928–40.
- [14] Peretz I. Brain specialization for music. New evidence from congenitale amusia. *Ann N Y Acad Sci* 2001;930:153–65.
- [15] Peretz I. Music perception and recognition. In: Rapp B, editor. *The handbook of cognitive neuropsychology*. Psychology Press; 2001.
- [16] Peretz I. Brain specialization for music. *Neuroscientist* 2002;8:372–80.
- [17] Peretz I, Hyde KL. What is specific to music processing? Insights from congenital amusia. *Trends Cogn Sci* 2003;7:362–7.
- [18] Peretz I, Coltheart M. Modularity of music processing. *Nat Neurosci* 2003;6:688–91.
- [19] Peretz I, Champod AS, Hyde K. Varieties of musical disorders. The Montreal Battery of Evaluation of Amusia. *Ann N Y Acad Sci* 2003;999:58–75.
- [20] Peretz I, Zatorre R. Brain organization for music processing. *Ann Rev Psychol* 2005;56:89–114.
- [21] Peretz I. The nature of music from a biological perspective. *Cognition* 2006;100:1–32.
- [22] Riley G, Heaton S. Guideline for the selection of a method of fading cues. *Neuropsychol Rehab* 2000;10:133–49.
- [23] Robey RR. A meta-analysis of clinical outcomes in the treatment of aphasia. *J Speech Lang Hear Res* 1998;41:172–87.
- [24] Seron X, Deloche G, Moulard G, Rousselle M. A computer-based therapy for the treatment of aphasic subjects with writing disorders. *J Speech Hear Dis* 1980;45:45–8.
- [25] Seron X. La méthode du cas unique dans les rééducations neuropsychologiques : le problème de l'efficacité du traitement. *Rev Neuropsychol* 1995;5:253–71.
- [26] Tessier C, Weill-Chounlamountry A. Intérêt de l'outil informatique dans la thérapie rééducative des TAOC ? Entretiens d'orthophonie 2000. Paris: Expansion Scientifique Française; 2000. p 39–41.
- [27] Tessier C, Weill-Chounlamountry A. Aide informatisée pour la rééducation des troubles auditifs centraux (AIRTAC). Paris: Ortho éditions; 2005.
- [28] Tessier C, Weill-Chounlamountry A, Michelot N, Pradat-Diehl P. Rehabilitation of word deafness due to auditory analysis disorder. *Brain Inj* 2007;21:1165–74.
- [29] Weill-Chounlamountry A, Tessier C, Pradat-Diehl P. Pour une rééducation de la surdité verbale. In: *Aphasies et aphasiques*. Paris: Masson; 2007. p 191–205.
- [30] Wilson BA. Editorial, how do we know that rehabilitation works? *Neuropsychol Rehab* 1993;3:1–4.