



HAL
open science

Stratégies utilisées par les musiciens pour identifier la hauteur des notes : briques cognitives et représentations mentales

Alain Letailleur, Erica Bisesi, Pierre Legrain

► To cite this version:

Alain Letailleur, Erica Bisesi, Pierre Legrain. Stratégies utilisées par les musiciens pour identifier la hauteur des notes : briques cognitives et représentations mentales. 2020. pasteur-02901456v1

HAL Id: pasteur-02901456

<https://pasteur.hal.science/pasteur-02901456v1>

Submitted on 17 Jul 2020 (v1), last revised 11 Sep 2020 (v2)

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

*Traduction française de l'article paru dans « Frontiers in Psychology, auditory cognitive neuroscience »
sous le titre original :*

*Strategies used by musicians to identify notes' pitch: Cognitive bricks and mental representations
Front. Psychol. 11:1480. doi: 10.3389/fpsyg.2020.01480*

Stratégies utilisées par les musiciens pour identifier la hauteur des notes : briques cognitives et représentations mentales

Alain Letailleur¹, Erica Bisesi^{2,3#}, Pierre Legrain^{2,3*}

¹CNRS UMR8131, Centre Georg Simmel Recherches franco-allemandes en sciences sociales, EHESS, France, ²CNRS UMR3571, France, ³Institut Pasteur, Unité perception et mémoire, France

*** Correspondance:**

Pierre Legrain

pierre.legrain@pasteur.fr

Adresse actuelle : Faculté de musique, Université de Montréal, Canada

Mots-clés : Appui mental ; Représentation mentale ; Perception musicale multimodale ; Introspection ; Phénoménologie ; Hauteur des notes

Résumé

À ce jour, l'étude de la texture de la pensée et de ses mécanismes implicites est rarement abordée directement. Les approches systémiques basées sur des méthodologies introspectives ne sont actuellement plus à la mode et se trouvent souvent négligées ou ignorées. Le plus souvent, des approches réductionnistes sont réalisées pour déchiffrer les circuits neuronaux fonctionnellement associés aux processus cognitifs. Toutefois, nous soutenons que des études systémiques de la pensée individuelle peuvent encore contribuer à une description utile et complémentaire de la nature multimodale de la perception, car elles sont en mesure de prendre en compte la diversité individuelle tout en identifiant les caractéristiques communes des processus perceptifs. Nous proposons d'aborder cette question en examinant la tâche de reconnaissance d'un "son signifiant" comme exemple de saisie conceptuelle d'une réponse perceptive. En adoptant une approche mixte, combinant des analyses qualitatives d'entretiens basées sur l'introspection avec des analyses statistiques quantitatives réalisées sur la catégorisation qui en résulte, cette étude décrit une variété de stratégies mentales utilisées par les musiciens pour identifier la hauteur des notes. Soixante-sept musiciens (étudiants en musique et professionnels) ont été interrogés, révélant que les musiciens utilisent des étapes intermédiaires lors de l'identification des notes en sélectionnant ou en activant des briques cognitives qui aident à construire et à obtenir la bonne réponse. Nous avons nommé ces éléments "appuis mentaux". Bien que les appuis mentaux ne soient pas universels et diffèrent selon les individus, ils peuvent être regroupés en catégories liées à trois modalités sensorielles principales : auditive, visuelle et kinesthésique. Cette catégorisation nous a permis de caractériser les représentations mentales qui permettent aux musiciens de nommer des notes en fonction de onze typologies de base d'appuis mentaux. Nous proposons un cadre conceptuel qui résume le processus d'identification des notes en cinq étapes, partant de la détection sensorielle et se terminant par la verbalisation de la hauteur de la note, en passant par le rôle pivot des appuis mentaux et des représentations mentales. Nous avons constaté que les musiciens utilisent de multiples stratégies et sélectionnent des combinaisons individuelles d'appuis mentaux appartenant à ces trois différentes modalités sensorielles, à la fois isolément et en combinaison.

1 Introduction

Les études scientifiques sur la cognition humaine révèlent que le cerveau, englobant ses entrées sensorielles impliquées dans le fonctionnement cognitif, possède une architecture structurelle et fonctionnelle très complexe. L'objectif de décrypter une telle architecture fonctionnelle est donc extrêmement ambitieux. La période moderne de cette recherche a débuté dans la deuxième partie du XIXe siècle, avec les fondateurs de la psychologie expérimentale, W. Wundt en Allemagne et W. James aux États-Unis (Thomas, 2019). Depuis, des progrès scientifiques considérables ont été réalisés, principalement dans le domaine des neurosciences expérimentales (pour revue, Dehaene et Changeux, 2011). Le lien de causalité entre les processus cognitifs complexes et la régulation de l'expression des gènes, y compris les mécanismes épigénétiques, est désormais étudié, en particulier en ce qui concerne les processus d'apprentissage et de mémoire ou les comportements des enfants (pour revue, Borrelli et al., 2008 ; Grigorenko et al., 2016 ; O'Donnell et Meaney, 2020). En outre, un domaine de recherche interdisciplinaire très fertile a émergé ces dernières années, favorisant la combinaison d'approches et de concepts issus des sciences humaines, des sciences cognitives et des neurosciences expérimentales. Il existe sans aucun doute une volonté de rendre cohérentes les connaissances acquises qui consiste, par exemple, à relier la description fonctionnelle du cerveau conjointement d'un point de vue mental et neural. Cependant, cette tâche s'avère difficile, car elle tente de réunir des méthodes souvent considérées comme opposées. Un tel problème apparaît notamment lorsqu'on juxtapose les sciences humaines aux sciences naturelles (Varela et al., 2001 ; pour la contribution de la philosophie aux sciences cognitives, voir également Laplane et al., 2019). Dans une approche expérimentale réductionniste de type *bottom-up*, les neurosciences abordent quant à elles la description fonctionnelle du cerveau en proposant des méthodes visant à établir les corrélats neuronaux des états mentaux avec des résultats d'expériences comportementales et de cartographie neuronale. Mais dans la majorité des cas, ces études sont encore loin de pouvoir appréhender concrètement le contenu de la matière de la pensée. Nous faisons l'hypothèse que cela résulte de difficultés méthodologiques à pouvoir développer des outils fiables, susceptibles de valider une expérimentation directe.

C'est pourquoi, dans le but d'aborder directement l'étude de la matière de la pensée, nous avons opté pour une méthode holistique. Nous avons suivi une approche phénoménologique basée sur l'introspection, c'est-à-dire que nous sommes partis du point de vue mental plutôt que du substrat neuronal, en élaborant une méthode d'entretien exploratoire. Après une première série d'entretiens, nous avons progressivement affiné et stabilisé notre protocole. Nous avons réduit autant que possible nos observations à une tâche très spécifique dans le domaine de la cognition auditive, pour finir par l'identification de la hauteur d'une ou de quelques notes de musique par des étudiants ou des musiciens professionnels.

Depuis le début du XXe siècle, Edmund Husserl a adopté une approche phénoménologique pour affronter la réalité d'un point de vue subjectif (Husserl, 1928). La phénoménologie est une étape importante de la cognition car elle considère "l'expérience subjective comme un processus continu qui est vécu de l'intérieur" (Ollagnier-Beldame, 2019). Ainsi, par l'introspection, elle permet d'identifier les objets mentaux discrets qui sont susceptibles de présenter un intérêt pour les besoins de la recherche : "L'expérience est la connaissance familière que nous avons de notre esprit et de notre action, à savoir le témoignage vécu et de première main que nous avons à son sujet" (Depraz et al., 2003). On pourrait avancer que l'examen phénoménologique des pensées humaines peut non seulement mettre en lumière des contenus mentaux dont nous n'avons pas conscience, mais aussi révéler comment les rechercher : "Notre expérience vécue étant ce qui est le plus proche de nous, le plus intime, nous n'imaginons pas qu'un travail particulier soit nécessaire pour en prendre conscience" (Petitmengin et al., 2015 ; voir aussi Vermersch, 2004 ; Petitmengin et Lachaux, 2013). Si la phénoménologie peut concrètement apporter des apports originaux et innovants de ce côté, cette méthode, qui correspond à une approche

expérimentale de type *top-down*, présente en retour un inconvénient majeur : elle repose uniquement sur l'observation d'éléments subjectifs, donc potentiellement trompeurs (Johansson et al., 2005). La présente étude vise à limiter cette difficulté méthodologique en recueillant des entretiens basés sur l'introspection sur un grand nombre de sujets, c'est-à-dire qu'en comparant et en croisant les descriptions fournies par une grande diversité de participants, nous visons à identifier à la fois des éléments substantiels d'individualité et de généralité émergente.

La perception de la musique a mobilisé les chercheurs depuis la fin du XIXe siècle. Par exemple, Stumpf a proposé le concept de "Verschmelzung" ("fusion") des sons : lorsque nous entendons un mélange de sons complexes nous pouvons, d'une part, éprouver la perception de beaucoup, voire de tous leurs constituants ; mais d'autre part, les sons complexes peuvent être perçus comme un tout hautement intégré (Stumpf, 1890). De nos jours, une large communauté scientifique étudie les bases neurales de l'écoute musicale (Allen et al., 2017 ; Graves et Oxenham, 2019 ; pour revue, voir Zatorre et Krumhansl, 2002 ; Levitin, 2012 ; Peretz et al., 2015). Dans cette étude, nous nous concentrerons sur les stratégies mentales adoptées par les musiciens dans le processus de reconnaissance de la hauteur des notes. Ceci représente le point de départ de notre projet en cours, dont l'objectif est de relier ces éléments mentaux aux réseaux neuronaux correspondants, activés dans le cerveau, qui sont actuellement étudiés directement dans une perspective neuronale (Brauchli et al., 2019 ; Burkhard et al., 2019 ; Leopold et al., 2019 ; McKetton et al., 2019).

La littérature scientifique axée sur l'oreille absolue révèle l'existence d'une très large gamme de capacités auditives (Takeuchi et Hulse, 1993 ; Levitin et Rogers, 2005 ; Schneider et al. 2005, Hsieh et Saberi, 2008 ; Deutsch, 2013 ; Kim et Knösche, 2017). Nous avons choisi de ne pas nous limiter aux personnes dont l'oreille absolue est auto-certifiée, préférant recueillir davantage d'informations sur cette capacité à partir de l'étude elle-même : par exemple, en cas d'échec ou de difficultés dans la tâche d'identifier une hauteur isolée, une note de référence a été proposée au participant. Cette approche méthodologique a l'avantage de permettre la détection d'un large éventail de capacités auditives, allant de la capacité parfaite de personnes ayant une oreille absolue à reconnaître toute note non contextualisée, à la capacité contextuelle d'identifier un stimulus auditif à l'aide d'un son de référence.

La méthode introspective permettant de mieux comprendre le contenu des pensées a été utilisée par des chercheurs qui ont exploré la théorie de la gestion mentale (La Garanderie, 1989), l'entretien d'explicitation (Vermersch, 1994) ou, plus récemment, l'entretien phénoménologique expérientiel (Vion-Dury et Mougin, 2018) et la micro-phénoménologie (Petitmengin et al., 2019). La technique de l'entretien d'explicitation a été la première à aborder une véritable recherche d'objectivité, en se concentrant sur la "scientification" des interviews par l'orientation du questionnement vers les éléments implicites de l'expérience de l'action (Vermersch, 1994). Plus précisément, l'analyse micro-phénoménologique consiste à identifier des énoncés structurels comme unités minimales de sens, pouvant renvoyer à des catégories descriptives ou les instancier (Petitmengin et al., 2019).

Afin de faciliter la description de la texture mentale au moment de l'identification de la note et dans le but de détecter des briques cognitives spécifiques et individuelles, nous avons interrogé des musiciens pour qu'ils relatent de manière introspective les stratégies avec lesquelles ils procédaient mentalement, en leur demandant de décrire, aussi précisément que possible, les processus mentaux qu'ils étaient conscients de mettre en œuvre. Nous avons ensuite traité les données en deux étapes : qualitativement, en recueillant des informations auprès de chaque musicien afin d'établir un inventaire des stratégies détectées ; quantitativement, en croisant ces résultats au moyen d'une approche statistique. Ceci a permis de catégoriser les différentes stratégies mentales et de proposer une interprétation basée sur des signatures phénotypiques spécifiques.

2 Matériels et Méthodes

2.1 Participants

Plus de quatre-vingts sujets ont été contactés au départ, parmi lesquels 67 personnes ont finalement été incluses dans l'étude : 28 musiciens professionnels (4 femmes et 24 hommes, âgés de 27 à 84 ans), et 39 étudiants de Conservatoire (18 filles et 21 garçons, âgés de 6 à 31 ans) (Tableau 1). Les musiciens professionnels ont été recrutés par le biais de relations professionnelles dans des conservatoires, des orchestres ou des chœurs. Les étudiants ont été recrutés dans trois Conservatoires différents de la région parisienne à des degrés de formation différents, couvrant les premier et deuxième cycles du Conservatoire français (correspondant à une formation de quatre ans pour les étudiants âgés de 6 à 10 ans et de 10 à 15 ans, respectivement), à l'exception de P122 et P144 qui ont suivi un troisième cycle (élèves généralement de plus de 16 ans). Les participants ont été initialement contactés en personne, par téléphone ou par courrier électronique, et informés du but de la recherche qui était d'améliorer l'audition musicale par une meilleure compréhension des processus cognitifs sous-jacents. Tous les participants ont donné leur consentement pour participer à l'étude avant le début de celle-ci. Dans le cas des élèves mineurs, les parents ont donné leur consentement en leur nom. Toutes les données et tous les rapports ont été anonymisés, conformément aux recommandations sur les bonnes pratiques fournies par l'institution de recherche (EHESS) qui a également formellement approuvé le protocole proposé. Aucun accord formel par un comité d'éthique n'a été demandé au moment des entretiens.

2.2 Matériel : les stimuli

Une ou un petit nombre de notes de différentes hauteurs ont été proposées à chaque sujet. Dans le cas de plusieurs notes, elles ont été présentées en séquence (mélodies) ou en superposition (accords). Des exemples représentatifs sont présentés dans la Figure 1. Les notes ont été jouées au piano (différents types), ou à l'ordinateur avec un timbre de piano ; dans ce dernier cas, le son du piano a été synthétisé au moyen du logiciel d'édition musicale Finale (Version 2012a, MakeMusic, Boulder, USA ; <https://www.finalemusic.com>). Un participant (P165), violoniste, s'est plaint que l'identification des notes au piano était trop difficile ; à sa demande, les notes lui ont alors été jouées au violon. Lorsque cela était nécessaire, une note de référence (généralement un la4, qui est la référence commune utilisée dans les conservatoires français) était fournie.

2.3 Procédures : entretiens et questionnaires

Tous les entretiens ont été réalisés par AL, un enseignant et musicien professionnel, dans le cadre de sa recherche doctorale. Les entretiens ont eu lieu dans des conservatoires. Elles ont duré entre trente minutes et deux heures et demie. Pour deux élèves mineurs seulement, un parent était présent pendant l'entretien. Au total, quatre-vingts entretiens ont été réalisés, la plupart sur une période de trois ans (2005-2007). Quinze entretiens ont été réalisés avant 2000 et ont servi à affiner la procédure (voir ci-dessous) et sept entretiens ont été réalisés plus tard (2015-2016). Un participant a refusé de participer à l'étude et un autre a abandonné après avoir terminé l'entretien ; tous deux ont fait valoir que le questionnaire était intrusif et potentiellement dommageable pour leur image. Tous les documents relatifs à ces deux entretiens ont été supprimés.

Tableau 1 Liste des participants

Profil des participants : sexe (M ou F), expertise musicale (STU : étudiant au conservatoire, PRO : musicien professionnel), âge au moment de l'entretien, pratique musicale (indéterminée : pratique non constante). Dans la sixième colonne, nous avons indiqué le rôle du participant dans l'étude : "groupe pilote", le participant a été sélectionné pour l'enquête initiale sur un groupe limité de 10 musiciens ; "exclu", l'entretien n'était pas adapté à l'analyse quantitative et a donc été écarté.

Stratégies mentales pour l'identification des notes

Participant	Genre	Expertise	Age	Pratique musicale	Commentaires
P101	M	PRO	65	Chef de chœur	Groupe pilote
P102	M	STU	11	piano	
P103	F	STU	12	guitare	
P104	M	STU	11	piano	
P105	F	STU	16	violon	
P106	M	STU	12	guitare	exclu
P107	F	PRO	59	piano/compositeur	
P108	M	STU	16	violon	
P109	F	STU	14	piano	
P110	F	PRO	45	chant	Groupe pilote
P111	M	STU	11	piano	
P112	F	PRO	29	compositeur	Groupe pilote
P113	F	STU	13	flûte	
P114	M	PRO	84	piano/compositeur	
P115	F	STU	9	guitare	exclu
P116	F	STU	13	piano	
P117	M	STU	8	indéterminée	
P118	F	STU	8	piano	
P119	M	STU	15	piano	
P120	M	PRO	50	percussions	
P121	M	PRO	59	chef d'orchestre	
P122	M	STU	12	violoncelle/piano	
P123	M	PRO	37	piano/compositeur	Groupe pilote
P124	M	PRO	42	piano	
P125	M	PRO	45	trompette	exclu
P126	M	PRO	30	piano	Groupe pilote
P127	M	PRO	73	compositeur	exclu
P128	M	PRO	37	piano/alto	
P129	M	STU	7	clarinette	
P130	M	PRO	42	violoncelle/chef d'orchestre	
P131	M	PRO	43	chef de chœur	
P132	M	STU	24	clarinette	Groupe pilote
P133	M	PRO	36	piano/compositeur	
P134	M	PRO	63	compositeur	exclu
P135	F	STU	12	piano	
P136	M	PRO	79	piano/compositeur	Groupe pilote
P137	M	STU	6	indéterminée	exclu
P138	M	PRO	65	chef de chœur	
P139	M	PRO	56	violoncelle	
P140	F	STU	14	guitare	
P141	F	STU	13	guitare	exclu
P142	M	STU	20	saxophone	
P143	F	STU	10	flûte	
P144	F	STU	17	violoncelle/cor	Groupe pilote
P145	F	STU	9	alto	
P146	M	PRO	32	alto	exclu
P147	M	PRO	36	balafon	exclu
P148	M	PRO	31	piano/compositeur	Groupe pilote
P149	M	STU	6	piano	
P150	M	STU	14	violon	
P151	M	STU	11	guitare	
P152	M	PRO	39	flûte	exclu
P153	F	STU	9	violon	
P154	M	STU	14	piano	
P155	M	STU	31	guitare/trompette	
P156	F	STU	16	saxophone	
P157	F	STU	7	violoncelle	
P158	F	STU	13	piano	
P159	M	STU	15	guitare basse	exclu
P160	F	STU	15	piano	
P161	M	PRO	53	piano/compositeur	
P162	M	STU	10	violoncelle	
P163	F	PRO	27	orgue	Groupe pilote
P164	M	PRO	40	orgue/compositeur	
P165	M	PRO	52	violon	
P166	M	STU	22	violon	
P167	M	STU	6	percussions	

Au début des entretiens, les participants ont été invités à répondre à des questions simples sur leur parcours musical (expertise, pratique instrumentale, etc.). Tous les entretiens ont été enregistrés en format audio et fidèlement transcrits en fichiers texte. Il n'a pas été demandé aux participants de lire, commenter ou corriger les textes. Dans certains cas, quelques commentaires ont été ajoutés au cours des entretiens et identifiés comme tels dans la transcription écrite. Pour quatre musiciens (P112, P114, P123, P164), plusieurs séances ont eu lieu. Dans un cas (P107), l'entretien a été résumé a posteriori.

Exemple 1	
Exemple 2	
Exemple 3	
Exemple 4	
Exemple 5	
Exemple 6	

Figure 1. Exemples de stimuli auditifs

Exemples de stimuli auditifs correspondant à différents niveaux de complexité. Exemple 1 : Mi bémol joué sans note de référence. Lorsque le participant le demandait, il était joué à nouveau précédé d'une note de référence La4. Exemple 2 : quatre notes qui peuvent être perçues dans un contexte tonal ou non tonal. Exemple 3 : douze notes dans un contexte non tonal. Exemple 4 : six notes réparties sur un grand ambitus, dans un contexte non tonal. Exemple 5 : un accord majeur à l'état de second renversement. Exemple 6 : un accord de septième de dominante à l'état fondamental.

Les entretiens ont été menés selon une approche basée sur l'introspection. L'étude a débuté par une assez longue phase exploratoire au cours de laquelle la méthode s'est progressivement stabilisée, étant également influencée par les méthodes d'entretien proposées dans les années 90 (La Garanderie, 1989 ; Vermersch, 1994). Cependant, nous n'avons pas suivi strictement l'une ou l'autre de ces méthodologies, mais nous avons plutôt exploré une approche originale facilitant la communication entre les sujets et l'expérimentateur sur les processus mentaux impliqués. Des exemples de tels entretiens sont rapportés dans la thèse de doctorat d'AL (Letailleur, 2017). Notre méthode d'entretien présente quelques similitudes avec les techniques d'entretien introspectif décrites dans la littérature,

telles que la version renouvelée des entretiens d'explicitation (Depraz et al., 2003 ; Vermersch, 2009), les entretiens phénoménologiques expérientiels (Vion-Dury et Mougin, 2018) ou les entretiens micro-phénoménologiques (Petitmengin et al., 2019).

La tâche principale de chaque entretien était d'identifier des notes isolées. Les entretiens ont systématiquement commencé par l'identification de notes individuelles, isolées de tout contexte (Figure 1, exemple 1). Chaque fois que cela était possible, c'est-à-dire lorsque les musiciens parvenaient facilement à identifier des notes isolées, l'entretien avançait en incluant des stimuli plus complexes (Figure 1, exemples 2-6). Notre objectif était de proposer une tâche systématiquement compatible avec l'expertise évaluée du participant : lorsque cela était jugé approprié, cela nous a conduits à des tâches d'identification plus complexes. Les participants ont toujours été invités à décrire leur cheminement mental lors de l'identification des notes. Notre objectif n'était pas de tester l'expertise des participants, mais de recueillir des informations et une description sur les éléments mentaux activés au cours du processus d'identification pour lesquels leur expertise a été mise à contribution. L'ensemble de la procédure a été calibré pour s'assurer, dans la mesure du possible, que la complexité de la tâche était compatible avec l'expertise des participants. Pour cette raison, une note de référence a été proposée à la demande des participants qui n'avaient pas une oreille absolue. Dans la grande majorité des cas, les musiciens ont pu identifier les notes et décrire les stratégies mentales adoptées lors du processus d'identification. Dans les cas (principalement de jeunes étudiants) où une identification correcte n'était pas réalisée, les participants n'ont pas été avertis de leurs erreurs et l'entretien s'est néanmoins poursuivi avec des questions inchangées.

2.4 Procédures d'analyse

Dans un premier temps, un aperçu qualitatif de l'ensemble des données des entretiens nous a permis d'extraire des éléments de preuve de l'existence de diverses stratégies mentales utilisées au cours du processus de reconnaissance de la note. Différents éléments mentaux de faible complexité ont été identifiés. Nous avons nommé ces éléments "appuis mentaux" (AM). Les appuis mentaux sont associés, d'une manière ou d'une autre, aux représentations mentales (RM) des noms de note, c'est-à-dire les éléments internes qui viennent à l'esprit pour interpréter le signal externe et lui donner du sens. Nous avons ensuite procédé à des analyses quantitatives systématiques des entretiens, en extrayant et en classant les éléments de texte correspondant aux appuis mentaux. Nous avons commencé par une étude pilote sur dix entretiens, où les annotations pour les AM et les RM ont été effectuées indépendamment par deux d'entre nous - AL et PL (qui sont tous deux de langue maternelle française), au moyen du logiciel QDA Miner 5 (Provalis Research, Montréal, Canada ; <https://provalisresearch.com/products/qualitative-data-analysis-software>) - un outil équipé d'une interface très efficace pour le codage, l'extraction, l'analyse qualitative et quantitative de textes écrits. La cohérence interne de nos annotations indépendantes et la fiabilité conséquente de la méthode ont été évaluées au moyen du test kappa de Cohen (McHugh, 2012 ; voir section 3.2.1 pour les résultats). Par la suite, AL et PL ont annoté conjointement les occurrences des appuis mentaux pour le groupe complémentaire de quarante-six participants. La cohérence entre les deux méthodes d'annotation a finalement été évaluée au moyen du test de Kolmogorov-Smirnov (Howell, 2013 ; voir la section 3.2.2 pour les résultats).

3. Résultats

3.1 Analyse qualitative

La plupart des entretiens a révélé que les musiciens ne connaissaient pas la stratégie ou la méthode qu'ils utilisaient pour identifier la hauteur d'une note. Une fois le nom de la note fourni (par

exemple "C'est un Mi bémol"), la question "Comment le savez-vous ?" était systématiquement posée. Quelques musiciens ont pu spontanément décrire leurs stratégies, par exemple : "Parce que j'ai "entendu" - ou "vu", etc. - quelque chose dans ma tête". La plupart des musiciens s'est trouvée dans l'incapacité de fournir une telle explication, se contentant de répondre "C'est évident". Dans de tels cas, l'interlocuteur a insisté en induisant une introspection sur le processus de reconnaissance des notes : "Pouvez-vous essayer de décrire ce qui s'est passé dans votre esprit pendant l'identification ?". En fin de compte, les processus mentaux menant à l'identification des notes ont été rapportés par les participants à travers une grande variété de descripteurs mentaux qui ont été interprétés par les participants eux-mêmes comme des supports dynamiques dans l'acte d'identification de la note.

3.1.1 Exemples de descripteurs utilisés comme appuis mentaux pour la reconnaissance des notes

Le résultat de la collecte de ces éléments auprès de nombreux musiciens, révélant leurs parcours cognitifs pour l'identification des notes, nous a amené à considérer chacun de ces éléments de pensée comme jouant le rôle d'un repère, en contribuant à la reconnaissance de la, ou des notes perçues. Ces descripteurs sont apparus comme les plus petits éléments mentaux qui pouvaient être détectés par le biais de l'introspection. Nous avons formulé le concept d'"appuis mentaux" comme étant les structures minimales détectables par un sujet par voie introspective, en association avec un processus de reconnaissance perceptuelle. Ces appuis mentaux ont été décrits par les participants de plusieurs façons. Par exemple, le participant P125 a indiqué que la nature "sonore" de son appui mental consistait en une fusion entre deux timbres : "Il s'agit d'une voix intérieure, d'un timbre, d'une couleur, à mi-chemin entre la voix humaine et un son de trompette". Le participant P138, concernant l'identification de la note Fa dièse, a insisté sur le fait qu'il pouvait entendre trois syllabes fondues en une seule : "De même que je n'entends qu'un seul son, je n'entends qu'une seule syllabe. Les sons sont inséparables. Pour moi, c'est une perception globale : Je n'entends pas deux ou trois syllabes. J'entends une impression sonore simultanée, et même si pour le formuler, il faut trois syllabes, dans mon esprit, c'est comme s'il n'y en avait qu'une : si je pouvais prononcer les trois syllabes en même temps, je les prononcerais en même temps".

Les appuis mentaux, en tant que support pour la reconnaissance d'un objet perceptuel peu complexe, ont semblé fonctionner comme les éléments clés d'une stratégie cognitive efficace : parfois comme des saisies immédiates, qui pouvaient même être jusqu'alors ignorées par les musiciens eux-mêmes, ou comme un micro-raisonnement nécessitant plusieurs secondes. L'idée que les appuis mentaux jouent un rôle stratégique se retrouve également dans le fait qu'il a été possible d'établir une forte correspondance entre leur utilisation et les différentes façons d'attribuer un sens aux caractéristiques perceptuelles. À titre d'exemple, nous avons observé une cohérence significative entre la stratégie spécifique adoptée et le type d'audition musicale (oreille relative ou absolue). Les musiciens ayant une oreille relative n'ont pas réussi à identifier une note isolée et ont demandé à entendre d'abord une note de référence. Ces musiciens ont déclaré qu'ils devaient comparer mentalement l'écart entre les deux notes avec un intervalle enregistré dans leur mémoire. Cela a révélé une relation entre la stratégie employée et la hauteur relative, puisque la procédure d'identification indiquait une sorte de mesure de la distance entre deux références. Les personnes ayant une oreille absolue ont identifié la note sans aucune référence préalable. Ils ont dit par exemple qu'ils ressentaient mentalement le geste qui devrait être effectué avec leur instrument ou leur système phonatoire pour produire cette hauteur. Cette stratégie est compatible avec la reconnaissance directe de la hauteur sans aucune comparaison entre deux sons, ce qui n'est pas toujours le cas. En voici un exemple concret : le participant P164 n'a jamais demandé une note de référence pour identifier une note isolée. Cependant, dans certaines situations, il a lui-même imaginé mentalement une note de référence (La4) et l'a comparée avec le son extérieur qu'il percevait physiquement. Il a alors eu une sorte d'approche "absolue", typique de l'oreille absolue, consistant à ne pas avoir besoin de référence externe, mais a procédé néanmoins par comparaison

"relative" de deux éléments : reconnaître une première note (conçue intérieurement) avant d'identifier la seconde (réellement entendue). Notons que cette approche ne semble pas nécessiter plus de temps que l'identification directe. De nombreux musiciens ayant une oreille absolue ont montré différentes capacités à stocker des références internes dans leur mémoire temporelle. Le participant P123 a précisé, par exemple, qu'il pouvait rester plusieurs jours, voire des semaines, sans écouter de musique, tout en conservant sa capacité à identifier les notes de manière absolue. Le participant P139, quant à lui, a indiqué qu'il devait "réactiver" cette compétence une ou plusieurs fois par jour.

Toutes ces descriptions suggéraient bien une relation causale directe entre les appuis mentaux et la ou les réponses dans le processus d'identification. En voici deux exemples :

a. Le participant P164 fait une comparaison entre deux sons. Lorsqu'il décrit son appui mental, il a évoqué la distance entre les sons et a dit que c'était la position relative du deuxième "*point lumineux*" qui lui permettait d'identifier la note en question (Figure 2, panneau C) : "*En fait, pour cette note, je n'ai pas vu un clavier, mais un intervalle, une distance entre deux sons (...). Une sorte de fond noir, avec l'intervalle entre les notes du clavier comme une distance [espace] sur un fond neutre (...) J'ai senti la distance mentale de cinq touches*".

b. Quant à la participante P163, elle entendait souvent des syllabes prononcées intérieurement comme "Do" ou "Mi", ce qui la mettait sur la voie de la dénomination de la note.

3.1.2 Les stratégies mentales

Les entretiens des participants ont fait apparaître de nombreuses situations où les appuis mentaux interagissaient les uns avec les autres, se mélangeant ou se fusionnant ensemble. Les processus dans lesquels l'identification s'est faite par la combinaison de plusieurs appuis mentaux ont été régulièrement décrits. Dans cette situation, chaque appui mental ne fournissait qu'une seule information, et c'est donc à partir de la combinaison de plusieurs éléments complémentaires que la reconnaissance des notes a été réalisée. Ainsi, par exemple, le participant P163 devait se concentrer sur trois aspects : 1) les voyelles auditives internes, qui fournissaient des informations sur le nom de la note ("*La note m'a dit 'mi'*") ; 2) la spécificité avec laquelle la voyelle finale du nom de la note était prononcée (la fin *i* était prononcée avec une couleur assez sombre : "*C'était un peu comme un 'mu'*"), qui mettait sur la piste de la détection d'une altération (c'est-à-dire un Mi bémol et non un Mi naturel), et enfin 3) la vision floue d'un piano : "*... et j'ai superposé la vision globale du clavier pour situer de quel Mi il s'agissait*".

Les résultats obtenus suggèrent que cette diversité de stratégies est loin de se limiter à la seule distinction entre les deux principaux types d'oreille musicale, à savoir l'oreille absolue et l'oreille relative. En effet, les participants ont par exemple explicitement mentionné la contribution de leur visée intentionnelle lors de la reconnaissance des notes, en particulier pour les sons complexes (plus d'une note ; voir Figure 1, exemples 5 et 6). Voici deux descriptions de procédures mentales contrastées : (i) "*Je cherche, note par note, les différents éléments d'un accord*", ou alternativement (ii) "*J'identifie d'abord un accord dans son ensemble*". Certains musiciens peuvent utiliser l'une ou l'autre stratégie, par exemple P123. Ces exemples suggèrent que, selon l'attention portée, les stratégies peuvent être différentes tout en utilisant le même appui mental. Voici une autre illustration du rôle des visées intentionnelles lors de l'identification des notes : en situation enharmonique, la plupart des musiciens a identifié mentalement les hauteurs en nommant les notes indépendamment du contexte harmonique (par exemple, le choix systématique d'un Sol dièse et non d'un La bémol), en mentionnant, plus tard le cas échéant, l'étrangeté de leur dénomination non contextualisée.

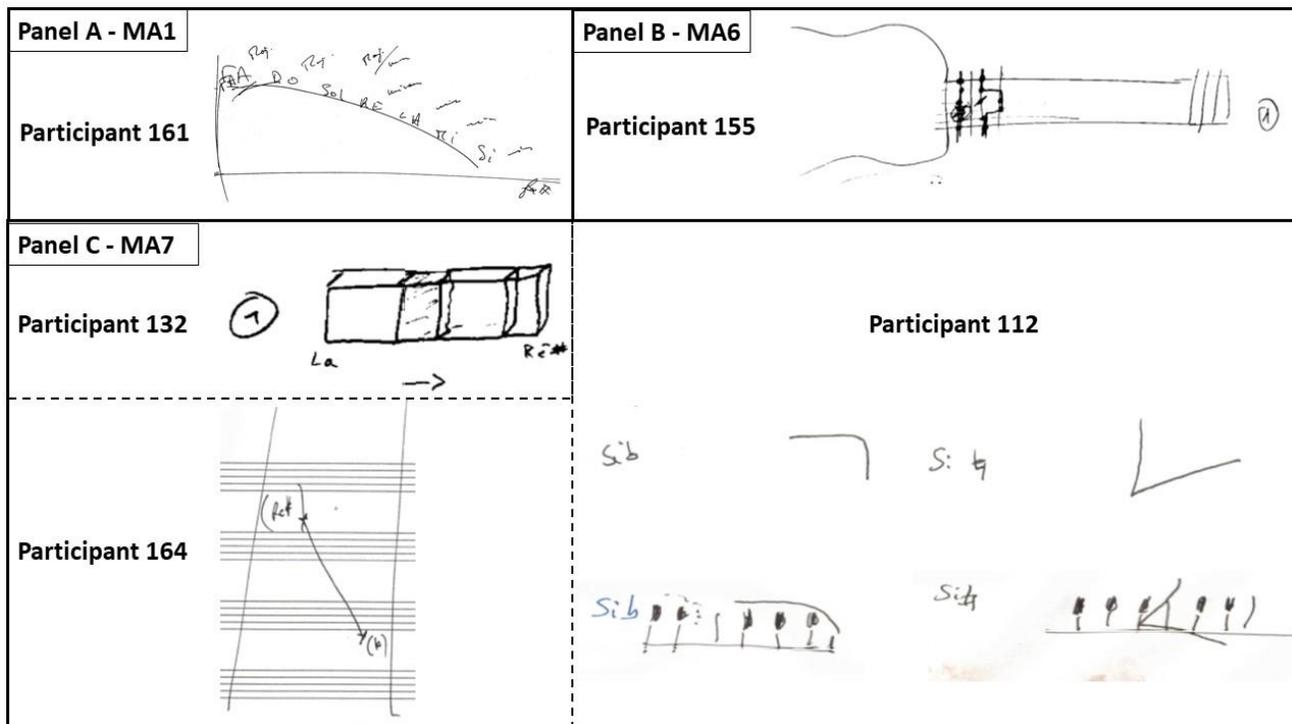


Figure 2 Dessins réalisés par certains participants pour illustrer leurs appuis mentaux

Panneau A : Le participant P161 a fait un dessin pour expliquer comment il entend les noms des notes (AM1) à différents niveaux de volume, de très fort à très faible (écrits "Max" et "Min" dans le dessin) le long d'un schéma ascendant de quintes (Fa Do Sol Ré La Mi Si). Panneau B : Le participant P155 a dessiné une guitare avec la position des doigts jouant des notes spécifiques (AM6). Panneau C : Les participants P112, P132 et P164 ont dessiné des diagrammes spécifiques (AM7) pour expliquer leurs représentations mentales des notes.

Enfin, c'est souvent par l'agrégation de plusieurs appuis mentaux que les musiciens ont pu constituer une représentation mentale, c'est-à-dire l'identification complète de la note perçue. Bien que les appuis mentaux puissent être liés à différentes modalités sensorielles, les représentations mentales ainsi formées étaient toujours liées à une seule modalité sensorielle principale - les participants déclaraient : "Je" mentalement "vois", "entends" ou "ressens".

Cette première analyse qualitative a montré que les musiciens n'utilisaient pas les mêmes stratégies ni les mêmes appuis mentaux pour identifier une note. Cependant, elle a également suggéré que, bien qu'un large éventail de descriptions ait été fourni, les processus mentaux sous-jacents n'étaient pas si nombreux. Par conséquent, nous avons mené une deuxième analyse qualitative, plus ciblée, sur tous les entretiens disponibles afin de relier les appuis mentaux des participants à un nombre limité de catégories et d'identifier un répertoire minimal d'appuis.

3.1.3 Un répertoire d'appuis mentaux pour la reconnaissance du terrain

Les 11 catégories d'appuis mentaux (AM) qui en résultent sont énumérées dans le Tableau 2, accompagnées d'une brève description. Dans les paragraphes suivants, nous donnons une description détaillée de chacune d'entre elles.

AM1 : "Entendre" le nom ou une partie du nom d'une note

Cet appui mental dépend de la langue de l'entretien (dans notre cas, le français). Les musiciens utilisent cet appui de diverses manières : en effet, les descriptions portent sur différents aspects tels que l'emplacement spécifique du son ou encore le timbre avec lequel les mots sont prononcés intérieurement (il peut s'agir d'un mot entier ou d'une partie de celui-ci). C'est l'accent mis sur la

dernière voyelle, par exemple, qui a permis de définir le rôle de cet appui mental. Certains musiciens, comme P148 et P162, n'ont "*entendu*" mentalement que la dernière voyelle du nom de la note. Tous deux ont admis avoir confondu entre les notes Mi et Si, ainsi qu'entre Fa et La, puisque leurs noms se terminaient par le même son - confusion qui peut paraître assez surprenante pour un musicien expert. La même chose n'est pas arrivée, par exemple, au participant P139, qui "*entend*" les noms des notes dans leur intégralité. Fait intrigant, pour certains participants, l'emplacement du son (c'est-à-dire l'endroit où, dans l'espace réel, le nom de la note a été "*entendu*" pour être prononcé, comme une sorte de "cartographie spatiale") s'est révélée être une stratégie mentale très importante. Par exemple, P123 "*entendait*" les noms des notes ; en cas de doute, par exemple en présence d'altérations, il pouvait distinguer différentes possibilités car, disait-il, les sources sonores "*générant différents noms*" étaient "*situées dans différentes positions*". P123 utilisait très fréquemment la localisation sonore pour AM1. En plus de ce participant, nous avons également trouvé des traces de cette utilisation dans d'autres entretiens, par exemple dans le cas de P126. Pour P161, certaines notes pouvaient "*prononcer leur nom*" plus fortement que d'autres en fonction de la hauteur du Fa "*très fort*" au Si "*presque inaudible*" le long d'un cycle ascendant de quintes, tel que dessiné par le participant lui-même (voir Figure 2 panneau A).

AM2: Reconnaissance d'intervalles ou de motifs sonores formellement appris qui combinent plusieurs notes

Il s'agit ici de la reconnaissance de groupes de notes les unes par rapport aux autres, formant un motif sonore reconnaissable. Cet appui mental, largement utilisé, a été exploité de deux manières différentes et éventuellement complémentaires. Dans le premier cas, il s'agissait de la reconnaissance d'intervalles appris et mémorisés tels qu'une tierce, une quinte, etc. Dans ce cas, l'appui AM2 est utilisé pour reconnaître des notes jouées à la fois en séquence (mélodies) et en superposition (accords). Il correspond essentiellement à une stratégie associée à la hauteur relative. Par exemple, le participant P136 a déclaré "*Les intervalles, (...) je les reconnais dans tous les cas, pour tous les instruments*". Dans le second cas, AM2 correspond à la reconnaissance directe d'accords conventionnels tels que l'accord parfait majeur ou mineur, la septième de dominante, etc. Ce type de saisie instantanée est typique de la reconnaissance de figures harmoniques (Bougeret, 2005), et pourrait correspondre à un effet immédiat de simplification de la tâche. Comme l'indique P114 : "*C'est comme si nous avions la mémoire de milliers d'accords, et que ceux que nous entendons étaient identifiés au moyen de ceux dont nous avons la mémoire*". Cet appui mental est utilisé en association avec l'oreille absolue et relative, bien que de manière différente. Son utilisation semble être la conséquence d'un entraînement musical intensif.

AM3 : Recherche de la hauteur des notes par l'utilisation de gammes ascendantes ou descendantes

L'identification d'une note part d'une note de référence bien connue : le musicien chante ou entend mentalement des sons dans le but de compter les pas nécessaires pour atteindre la hauteur identifiée. À titre d'exemple, l'élève P102 a dit "*Je suis passé du Do au Si ; j'ai gravi les degrés Do, Ré, Mi, Fa, Sol, La, Si*".

AM4 : Reconnaissance des notes par l'association de la hauteur des notes avec des teintes auditives spécifiques, ou la notion de "timbre-hauteur".

Cet appui mental peut être conçu par analogie avec une couleur visuelle (bien qu'elle renvoie à un aspect non visuel, étant une sorte de teinte auditive), associée à chaque note ou accord. Pour la plupart des musiciens, cet appui semble être lié à la longueur d'onde de la fondamentale, perçue comme une signature unique ; pour certains d'entre eux (nous avons détecté cinq participants), son utilisation est étroitement associée au timbre du son, c'est-à-dire à des sons contenant un nombre minimal de

fréquences harmoniques supérieures et produits par des instruments bien spécifiques (par exemple, un violon pour P165). Le participant P131 a déclaré : *"Pour moi, la note elle-même a un timbre particulier, une couleur particulière, un Mi ne sonne pas comme un Ré, et si vous jouez une note au piano, c'est surtout le timbre de cette note qui me donnera son nom"*. Pour certains musiciens, l'identification de la hauteur de la note à partir de la voix humaine (P163) ou d'un son d'ordinateur (P131) était impossible. Une telle diversité individuelle suggère un traitement cognitif du son, dont la complexité allait bien au-delà de la simple reconnaissance de la hauteur fondamentale. Cela rappelle également les études expérimentales comparant les humains et les macaques, sur la différente organisation fonctionnelle du cortex auditif pour le traitement des stimuli musicaux (Norman-Haignere et al., 2019). Certains musiciens ont également utilisé cet appui dans la reconnaissance simultanée de plusieurs notes, sans nécessairement recourir à une signature musicale préalablement apprise (comme les accords classés, la perception de la différence entre une quarte juste et une tierce majeure, etc.).

Notons que, bien que les limites entre AM2 et AM4 ainsi qu'entre AM2 et AM3 soient assez clairement définies, les musiciens ont démontré qu'ils étaient également capables d'utiliser ces appuis en combinaison, ce qui peut rendre leur distinction moins évidente. Notons également que la différenciation entre AM2 et AM4 est particulièrement délicate, car la "couleur" d'un accord - une caractéristique exprimant sa signature timbrale en fonction de l'équilibre entre les harmoniques - peut être soit mémorisée comme telle, soit associée à des concepts musicaux déjà appris.

Modalité sensorielle mentale	Nom	Stratégie mentale
Auditive	AM1	"Entendre" le nom ou une partie du nom d'une note
	AM2	Reconnaissance d'intervalles ou de motifs sonores formellement appris qui combinent plusieurs notes
	AM3	Recherche de la hauteur des notes par l'utilisation de gammes ascendantes ou descendantes
	AM4	Reconnaissance des notes par l'association de la hauteur des notes avec des teintes auditives spécifiques, ou la notion de "timbre-hauteur"
Visuelle	AM5	"Vision" de la note à l'intérieur de la portée ou "vision" du nom de la note
	AM6	"Vision" d'un instrument de musique ou "vision" de la position du corps requise pour jouer une note
	AM7	"Vision" de motifs spécifiques créés individuellement qui correspondent à une note ou à un groupe de notes
	AM8	"Vision" d'une couleur ou d'une matière associée à la hauteur de la note
Kinesthésique	AM9	Sensation d'un geste vocal associé à la production d'une note
	AM10	Sensation d'un geste instrumental associé à la production d'une note
	AM11	Autres sensations diverses spécifiques à une note

Tableau 2 Catégories des appuis mentaux

AM5 : "Vision" de la note à l'intérieur de la portée ou "vision" du nom de la note

Dans ce cas, les notes ont été "visualisées" sur la portée, ou leurs noms "sont apparus" en toutes lettres. Par exemple, le jeune étudiant P153 a dit "*Oui, j'ai vu le mot écrit..., car quand je pense à la note, je ne sais pas pourquoi, dans une leçon de solfège, parfois, je l'écris [mentalement]... parfois j'y pense...*". Dans le premier cas, la clé pouvait aussi apparaître, et l'ambitus était aussi pris en compte d'une manière ou d'une autre (clé de Fa pour les graves, clé de Sol pour les aigus). À cet égard, P105 dit : "*J'imagine comment les notes pourraient être positionnées (...) Je vois une portée avec une clé de Sol, un La, et puis je vois les notes descendre...*"

AM6 : "Vision" d'un instrument de musique ou "vision" de la position du corps requise pour jouer une note

En fonction de la pratique instrumentale du musicien, un instrument de musique apparaît plus ou moins clairement - un clavier, un manche de guitare, les touches de la clarinette, etc. - avec la position des doigts correctement associés à la note. Dans certains cas, les participants ont fourni un dessin de ces images mentales (par exemple, P155, Figure 2, panneau B).

AM7 : "Vision" de motifs spécifiques créés individuellement qui correspondent à une note ou à un groupe de notes

Cet appui mental est utilisé pour identifier une note sans référence évidente (par exemple, pour une oreille absolue), pour identifier une note en association avec une note de référence (respectivement jouée ou non, selon que l'oreille est relative ou absolue), ou pour reconnaître une relation entre deux notes à identifier. P140 spécifie : « *je peux distinguer un escalier (...), des marches, et chaque marche correspond à une note. Et donc, quand je descends, mes yeux parcourent les marches dans ma tête* ». Certains musiciens ont dessiné des diagrammes pour expliquer leurs appuis visuels (Figure 2, panel C) : P132 a vu des schémas représentés par de grandes et de petites cases respectivement pour les tons et les demi-tons ; pour P164, lorsque le stimulus était un Ré dièse, il a vu mentalement un La et a estimé la distance entre les deux points de référence mentaux. P112, qui a l'oreille absolue, a visualisé mentalement de petites formes correspondant aux notes entendues et a dessiné ces formes sur un clavier conceptualisé (Figure 2, panneau C). Elle a déclaré "*Le Si, c'était plus net, je vois une sorte de pique... La position [sur le clavier] du Si bémol par exemple, la dernière touche noire par rapport aux touches blanches, on les situe plus bas, et puis, toujours par rapport à la gamme de Do qui est la première gamme que l'on apprend, celle-ci vient avant, donc le Si bémol viendrait clore, protéger cette gamme de Do par en haut... On n'a pas, pour le Si bémol, le tranchant du Si bécarré... le Si bécarré, il fait un coin, vraiment ! Le Si bécarré, je le sens un petit peu plus tranchant, et c'est une forme qui s'ouvrirait plus comme ça... Le Si bécarré, pour moi, il ouvre une autre gamme, et en même temps, il vient d'avant le Do ... d'où cette forme un petit peu...*"

AM8 : "Vision" d'une couleur ou d'une matière associée à la hauteur de la note

Ces appuis sont utilisés par exemple pour identifier des notes isolées, ou pour affiner l'identification d'une note en présence d'une altération. Certains participants ont fait référence à des visions colorées, comme P112 qui a dit "*le Mi pour moi, je le vois un peu rouge, tandis que le Mi bémol sera un peu plus dans les tons, soit rouge-marron, soit rouge bordeaux, enfin, un rouge un peu plus sombre*". D'autres ont vu des effets ou des déformations de la matière. Ainsi, P132 décrit "*Une forme (...) qui se rétrécit si les intervalles sont petits et se distend lorsqu'ils s'élargissent. Mais d'un point de vue purement visuel, une sorte de matière (...), comme la pâte à modeler*".

AM9 : Sensation d'un geste vocal associé à la production d'une note

Certains participants ont positionné mentalement leur appareil phonatoire en fonction de la production de la note. C'est l'acte de provoquer un "geste musculaire mental" qui permettait à ces

musiciens d'identifier la note perçue, de la même manière que ce qu'il faudrait faire pour la chanter réellement. Par exemple, P132 a dit : "*Je ne pense pas que mon appareil phonatoire se positionne vraiment, mais je ressens la sensation de le faire (...). C'est comme quand j'imagine que je fais un geste au tennis, j'imagine la sensation, mais pourtant mon bras ne bouge pas*". Cet appui mental est utilisé par les musiciens qui évoquaient un usage fréquent du chant mental interne dans leur pratique musicale, comme par exemple P144 : "*Quand j'entends une note aiguë, par exemple, eh bien je rétracte ici comme si j'allais la chanter en fait [et elle montre sa gorge]*".

AM10 : Sensation d'un geste instrumental associé à la production d'une note

Certains participants se sont positionnés mentalement en fonction de la production instrumentale de la note : par exemple pour la main sur le manche du violon (P165 dit : "*Je sens le geste, je sens ce geste de démanché pour aller du La à Fa dièse. Ah oui, ça je le sens*"), ou l'écart entre les doigts sur un clavier de piano (P126 : "*Je sens la distance qu'il faudrait faire avec mes mains par exemple, pour aller du La au Mi bémol*"), etc.

AM11 : Autres sensations diverses spécifiques à une note

Cette catégorie comprend les appuis mentaux qui ont été décrits comme toute autre sensation mentale associée au corps : une sensation d'ouverture (P155 : "*Un élargissement on va dire comme une cage thoracique qui s'ouvre progressivement*"); des frissons ou des tensions (P110 : "*Cette tension qu'il y a dans la quarte augmentée ..., moi je la ressens, physiquement parlant... Cela se situe dans le dos, dans le haut du dos*"); des sensations mentales liées à la thermoception (P101 : "*J'éprouve là encore ces impressions « thermiques »*"); une nociception (P132 : "*... quand j'écoute parfois des chanteurs, qui montent très haut, je ressens presque la douleur que ça m'aurait procurée, si j'avais essayé de le faire*").

3.1.4 Un cadre conceptuel pour le processus cognitif de reconnaissance des notes

L'analyse qualitative présentée jusqu'à présent nous a permis de souligner que les musiciens utilisent de nombreux appuis mentaux variés, qui peuvent être regroupés en onze catégories. Toutes ces catégories peuvent être utilisées dans une approche mentale par laquelle une note de musique est identifiée. Ces catégories peuvent être classées en fonction de la modalité sensorielle concernée : auditive, visuelle ou kinesthésique (nous faisons ici référence à la capacité de voir mentalement, d'entendre mentalement, de ressentir mentalement, etc.). Au cours du processus de reconnaissance des notes, nous supposons que les appuis mentaux sont utilisés et manipulés afin de créer des représentations mentales efficaces des notes, c'est-à-dire une image mentale qui vient à l'esprit au moment de la reconnaissance d'une note ou d'un accord et qui fournit une explication du signal externe perçu. En effet, les processus mentaux décrits par les participants faisaient explicitement référence à l'une de ces modalités au moyen de mots (verbes, substantifs, etc.) qui peuvent être liés à chaque cas : "J'entends, je vois, je sens ; une voix intérieure, un dessin, un frisson ; etc. ". Finalement, c'est par le biais de représentations mentales que les musiciens réalisent leur tâche en communiquant le nom de la note.

Les processus mentaux décrits par les participants semblent être organisés de manière séquentielle, ce qui permet de proposer un cadre conceptuel composé de plusieurs étapes, commençant par la détection du stimulus par l'oreille interne et se terminant par une verbalisation correspondant au nom de la ou des notes (Tableau 3). Le point de départ est le stimulus sensoriel de complexité variable, de nature physique bien établie et situé dans l'espace extérieur, ici une ou des notes de musique. **Étape 1 – Détection sensorielle** La détection sensorielle consiste à capter le signal externe par un organe sensoriel quelconque, ici l'oreille interne, et à le transmettre ensuite à des entités cérébrales. **Étape 2 – Sélection d'appuis mentaux** La sélection des appuis mentaux est l'étape à laquelle les fragments de pensée émergent, en fonction de la complexité plus ou moins grande du stimulus externe et du contexte

Stratégies mentales pour l'identification des notes

Étape	Description du processus	Exemples tirés de l'entretien avec P126
Evènement initial	Une note est jouée au piano ; à la demande, elle peut être précédée d'un La4	
1. Détection sensorielle	Le participant entend la(es) note(s)	
2. Sélection d'appuis mentaux	Plusieurs appuis mentaux sont sélectionnés : <ul style="list-style-type: none"> • Une voix interne prononce une ou plusieurs syllabes • Une vision interne d'une partie d'un instrument apparaît • Un geste vocal mental est ressenti • Un geste instrumental mental est ressenti • Un intervalle est reconnu 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>J'ai entendu "iiii"</i> • <i>Je vois un clavier</i> • <i>J'ai une sensation physique (...) associée à un geste vocal mental</i> • <i>Je sens l'écart de mes doigts dans la main (...) J'utiliserais le second et le cinquième doigt</i> • <i>J'ai entendu tout à coup le triton</i>
3. Intégration mentale	C'est le processus de combinaison des informations partielles venant des appuis mentaux. Par exemple : <ul style="list-style-type: none"> • La syllabe terminale <i>i</i> • La couleur de l'intervalle • L'identification d'un fragment du clavier • Des gestes mentaux variés (vocal, physique, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Quand j'entends les notes, j'entends les voyelles, donc je suppose que c'est un mi... Tant que je n'ai pas un autre indice... c'est difficile...</i> • <i>La signature de cet intervalle m'est très familière</i> • <i>J'identifie le milieu du clavier</i> • <i>La sensation physique que je perçois dans mon appareil phonatoire associé à un intervalle particulier correspond à la sensation physique que je ressens dans ma main, mon bras ou mon coude</i>
4. Validation des représentations mentales	Quand les appuis mentaux sont amalgamés, une saisie conceptuelle est faite. Deux stratégies peuvent éventuellement se superposer : une directe, une indirecte. Ceci permet d'affiner, de confirmer et de stabiliser une représentation mentale non ambiguë : <ul style="list-style-type: none"> • Stratégie directe : le nom de la note (parmi les sept possibilités diatoniques) et une altération éventuelle (dièse ou bémol) • Stratégie indirecte : amalgame d'appuis mentaux pour i) reconnaître une signature typique d'un intervalle ; ii) mesurer la distance entre deux points 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Je ferais mieux d'affiner la voyelle. Ici, clairement, j'entends une consonne sortir, je sais même dans quelle tonalité je me trouve</i> • <i>J'entends l'intervalle, mais je ressens aussi physiquement la distance que je dois faire avec mes mains, par exemple pour passer du La au Mi bémol. "Géographiquement", je "vois" parfaitement comment cela fonctionne, même en incluant l'intervalle nécessaire pour l'obtenir sur le clavier</i>
5. Verbalisation	La réponse est donnée	<ul style="list-style-type: none"> • <i>C'est un Mi bémol</i>

Tableau 3 Cadre conceptuel pour les appuis mentaux

d'entraînement du destinataire. Comme indiqué dans la section précédente, nous avons appelé ces éléments de la pensée "*appuis mentaux*". Les appuis mentaux deviennent explicites lors de l'introspection et contribuent à l'interprétation du signal externe ; selon le contexte (par exemple, note isolée ou notes dans un accord), le même signal peut déclencher la sélection de différents appuis. Dans notre formulation, les appuis mentaux correspondent à des entités qui stockent des souvenirs de perceptions ou d'actions antérieures pouvant provenir de multiples modalités sensorielles. **Étape 3 – intégration mentale** L'intégration mentale est le processus qui consiste à relier un ou plusieurs appuis mentaux afin de sélectionner, d'évaluer et/ou de proposer une représentation mentale (éventuellement consciente) du signal perçu. Cela correspond à l'étape d'agrégation et/ou de validation des appuis mentaux. De nombreuses opérations différentes sont ici effectuées, telles que la superposition ou le mélange des appuis, avec différents degrés de distanciation et de précision. Cela représente une tâche cognitive complexe, qui nécessite de combiner plusieurs niveaux d'intervention et différentes visées intentionnelles. Il s'agit ici d'une sorte d'amalgame permettant d'obtenir une réponse cohérente. En fonction de la difficulté de la tâche et des antécédents/expertise du participant, on peut observer différents niveaux d'accès à la conscience. Une telle intégration est illustrée dans le Tableau 3 pour le participant P126. Dans ce cas, il a été possible d'identifier progressivement la note, ainsi que de valider

cette identification, en combinant les informations provenant de chacun des appuis suivants : a) audition interne de la syllabe "i", qui met sur la piste d'un Mi probable (en français, mi) ; b) identification de la consonne "m" précédant la voyelle "i" (un processus spécifique décrit par P126 lui-même : "*La consonne vient à moi*") ; c) reconnaissance instantanée du triton (quarte augmentée) : comme la référence La a été fournie par l'expérimentateur, P126 a presque instantanément affiné sa réponse précédente, constituée de la syllabe "mi" (étapes a et b), et en a déduit que la note était en fait un Mi bémol ; d) confirmation finale par association des trois étapes précédentes avec les gestes mentaux liés à "*la sensation physique de [mon] appareil phonatoire*" et "*l'espace entre les doigts*". L'imbrication des appuis mentaux, qui sont des échos d'expériences perceptuelles antérieures avec des éléments de valence émotionnelle ou esthétique est apparue comme une expression importante des stratégies mentales mises en œuvre lors de l'identification des notes. Cependant, le rôle de ces éléments, aux côtés des appuis mentaux et des représentations mentales, reste à clarifier. **Étape 4 - Validation des représentations mentales** La sélection des représentations mentales est l'étape qui consiste à attribuer un sens au stimulus perçu, c'est-à-dire qu'une image mentale (au sens d'une représentation mentale, donc pas nécessairement une image visuelle) vient à l'esprit lors de la saisie conceptuelle, plus ou moins consciemment, pour fournir une explication au signal externe perçu. Comme mentionné plus haut, nous avons appelé ces images intérieures "représentations mentales". Les représentations mentales sont personnelles et peuvent varier d'un individu à l'autre. Elles ne sont généralement pas communiquées en tant que telles, sauf lors de l'introspection. **Étape 5 – Verbalisation** La verbalisation est l'étape finale indiquant une identification réussie du stimulus par la verbalisation au moyen d'une terminologie standard. Ni la nature de la représentation mentale sous-jacente ni les appuis mentaux associés ne sont communiqués lors de cette étape ; cependant, la reconnaissance de l'objet perçu est complètement établie.

3.2 Analyse quantitative

Afin d'évaluer ce cadre conceptuel, en précisant notamment la relation entre les appuis mentaux et les représentations mentales, nous avons entrepris une démarche plus systématique consistant en une analyse quantitative du contenu de tous les entretiens. Dans une expérience pilote avec dix musiciens, nous avons tout d'abord extrait et quantifié toute référence aux appuis mentaux, aux représentations mentales et aux différentes manipulations des premiers et des seconds. Après validation de cette procédure, nous avons ensuite étendu notre analyse quantitative à tous les entretiens (56 au total) pour (i) quantifier l'utilisation de chaque catégorie d'appuis mentaux, (ii) classer l'utilisation des appuis mentaux en fonction du sexe et de l'expertise, (iii) rechercher et discuter de l'utilisation simultanée et séquentielle des appuis mentaux, (iv) rechercher un éventuel regroupement des participants sur la base de modalités sensorielles, et (v) étudier les relations possibles entre différents appuis. Ces analyses sont présentées dans la sous-section suivante.

3.2.1 Étude pilote sur un ensemble de dix musiciens

Dans un premier temps, nous avons sélectionné un échantillon de 10 musiciens sur la base de la diversité de leurs profils et de la richesse de leurs entretiens (voir Tableau 1). Nous avons systématiquement extrait des éléments textuels se référant à l'un des trois éléments clés de notre modèle : (i) les appuis mentaux, en attribuant à chacun d'eux l'une des catégories AM1 à AM11 définies ci-dessus (étape 2) ; (ii) la manipulation des appuis mentaux pour la construction des représentations mentales (étape 3) ; (iii) les représentations mentales associées aux trois modalités sensorielles - auditive, visuelle et kinesthésique (étape 4). Le codage du texte a été effectué indépendamment par deux d'entre nous (AL et PL), suivi d'une double vérification de toutes les occurrences et d'une validation systématique conjointe. Un test kappa de Cohen a été effectué pour vérifier la cohérence entre les deux annotations indépendantes, indiquant un accord substantiel entre elles pour huit participants (indices de cohérence entre les deux annotateurs entre 0,524 et 0,829 ; voir Tableau 4).

Participant	Appuis mentaux (AM)			Représentations mentales (RM)		
	R ₁ - R ₂	R ₁ - R ₁₂	R ₂ - R ₁₂	R ₁ - R ₂	R ₁ - R ₁₂	R ₂ - R ₁₂
P101	0.420	0.657	0.734	1	1	1
P110	0.655	0.868	0.770	0.443	0.780	0.620
P112	0.781	0.914	0.847	0.671	0.928	0.744
P123	0.661	0.314	0.346	0.277	1	0.277
P126	0.804	0.967	0.835	0.810	0.865	0.873
P132	0.607	0.759	0.824	0.794	0.794	1
P136	0.524	1	0.524	1	1	1
P144	0.530	0.845	0.653	0.465	0.867	0.596
P148	0.685	0.875	0.723	1	1	1
P163	0.829	0.928	0.865	0.769	0.769	1
Tous	0.723	0.819	0.753	0.591	0.913	0.663

Tableau 4. Validation de la méthode qualitative utilisée pour attribuer les occurrences des appuis mentaux et des représentations mentales (test kappa de Cohen)

R1, annotateur AL ; R2, annotateur PL ; R12, annotation finale après discussion et accord entre AL et PL. Dans ce test, un score de 1 indique une correspondance parfaite, un score entre 0,81 et 1 correspond à un accord presque parfait, un score entre 0,61 et 0,80 indique un accord substantiel, un score entre 0,41 et 0,60 correspond à un accord modéré, un score entre 0,21 et 0,40 indique un accord nul à léger, et un score inférieur à 0,21 indique un résultat correspondant à une annotation aléatoire (McHugh, 2012).

De plus, la recherche de convergence dans l'attribution des occurrences par les deux annotateurs nous a permis de préciser les points de démarcation entre les différents appuis mentaux, notamment entre AM2 et AM4. Les faibles indices dans le test kappa de Cohen pour les deux participants P101 et P123 peuvent être commentés comme suit : P101 a utilisé en combinaison plusieurs appuis mentaux d'un type différent, il n'était donc pas simple de faire correspondre exactement certains éléments de texte à une catégorie unique d'appui (indice kappa de Cohen initial entre les deux annotateurs de 0,420). De son côté, P123 décrivait de manière très précise le concept de "spatialisation" mentale en "*entendant*" le nom des notes. Les deux annotateurs ont d'abord interprété une telle spatialisation en association avec l'espace visuel, avant de conclure que ce musicien faisait plutôt référence à la spatialisation de la source sonore, sans aucune référence au champ visuel. Cela a produit un écart, observé pour de nombreuses occurrences, entre les assignations initiales/individuelles et finales/jointes (indices kappa de Cohen de 0,314 et 0,346, respectivement pour AL et PL) par opposition à la cohérence observée entre les deux assignations individuelles initiales (indice kappa de Cohen de 0,661).

Notre analyse a révélé près de 1000 occurrences pour les appuis mentaux et plus de 450 occurrences pour les représentations mentales (Tableau 5). L'étude quantitative s'est ensuite concentrée sur les étapes 2 et 4 du cadre conceptuel proposé. Le Tableau 5A indique le nombre d'occurrences des appuis mentaux (AM) dans chacune des dix entretiens du groupe pilote. Chaque musicien a utilisé plusieurs types d'appuis, mais certains d'entre eux ont été privilégiés comme AM1 ("*Entendre*" le nom ou une partie du nom d'une note). Certains appuis (par exemple, AM2 : Reconnaissance d'intervalles ou de motifs sonores formellement appris qui combinent plusieurs notes) ont été utilisés comme supports principaux par certains musiciens et comme supports marginaux par d'autres. Enfin, certains AM ont été rarement utilisés, ou choisis, par un nombre limité de participants. C'est le cas d'AM6 ("*Vision*" d'un instrument de musique ou "*vision*" de la position du corps requise pour jouer une note), ou d'AM7 ("*Vision*" de motifs spécifiques créés individuellement qui correspondent à une note ou à un groupe de notes). Dans le Tableau 5B, nous indiquons le nombre d'occurrences des représentations mentales (RM) dans chacun des dix entretiens du groupe pilote. Trois modalités sensorielles majeures sont ici représentées : auditive, visuelle et kinesthésique. Les représentations mentales de type auditif

ont été très largement utilisées ; cependant, les représentations visuelles et kinesthésiques ont également été évoquées par un grand nombre de musiciens.

Panneau A

Participant	AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6	AM7	AM8	AM9	AM10	AM11	Total
P101		8	20	15				10	3		13	69
P110		34					14	6	6		58	118
P112	41	1		22	1	8	17	10	5	16	6	127
P123	115	1		14					9	8	5	152
P126	60	6			2	13			26	22	1	130
P132	3	6	7			3	59	6	2		1	87
P136	1	22		9	1	1				1		35
P144	50	5							13		18	86
P148	48	40		1		21				1		111
P163	29	5			8	4	2					48
Total	347	128	27	61	12	50	92	32	64	48	102	963

Panneau B

Participant	Auditive	Visuelle	Kinesthésique	Total
P101	28			28
P110	24	15	18	57
P112	25	22	8	55
P123	91	4	17	112
P126	23	5	15	43
P132	2	20	5	27
P136	33	1		34
P144	30		20	50
P148	24	3		27
P163	19	4		23
Total	299	74	83	456

Tableau 5. Nombre d'occurrences d'éléments textuels extraits des entretiens pour le groupe pilote de dix participants

Panneau A, les occurrences pour chaque catégorie d'appui mental (voir définition dans le Tableau 2). Panneau B, les occurrences pour les représentations mentales, selon la modalité sensorielle primaire.

Chaque appui mental se rapporte principalement à une modalité sensorielle spécifique : à savoir, AM1 à AM4 se rapportent à la modalité auditive, AM5 à AM8 à la modalité visuelle et AM9 à AM11 à la modalité kinesthésique. Il en résulte trois groupes principaux d'appuis. Pour chaque musicien, il a donc été possible d'identifier la modalité sensorielle liée à chaque groupe d'appuis et de la comparer avec l'importance des représentations mentales de la même modalité. Cette comparaison est illustrée dans la Figure 3. Notons que les histogrammes représentant les occurrences des appuis mentaux et des représentations mentales sont extrêmement similaires pour la plupart des musiciens. Les coefficients de corrélation entre ces deux ensembles de données sont proches de 1, à l'exception de P110. Ce participant utilisait régulièrement un appui mental très particulier, AM11, indiquant des sensations diverses spécifiques à chaque note. Son entretien a été très détaillé sur cet aspect, ce qui a conduit à de nombreuses occurrences pour AM11. Néanmoins, ses représentations mentales de la modalité kinesthésique n'ont pas été discutées de manière aussi approfondie dans les autres entretiens, ce qui a conduit, en comparaison, à une sous-représentation relative de cette modalité.

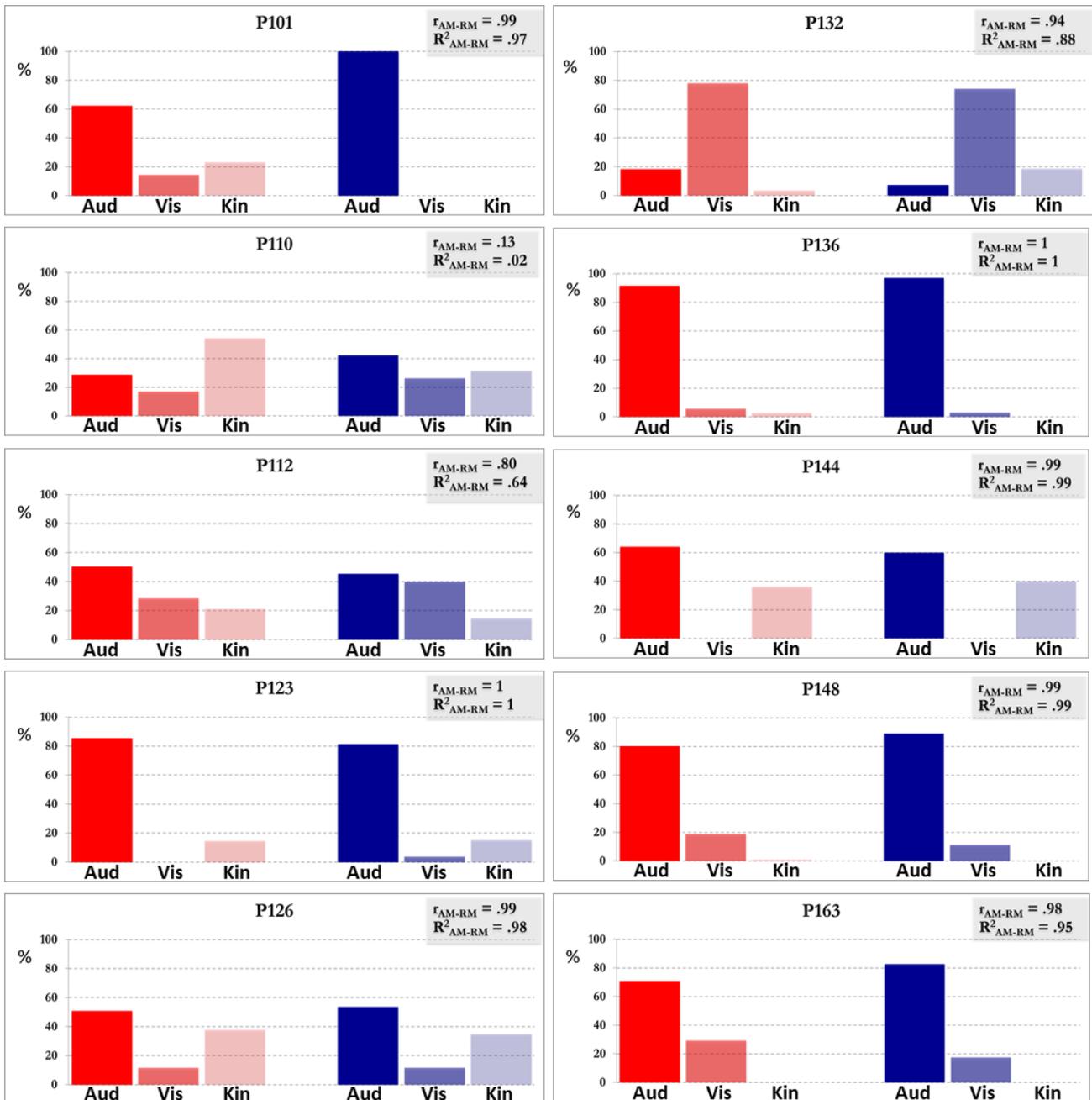


Figure 3. Comparaison entre les occurrences pour les appuis mentaux et les représentations mentales pour le groupe pilote de dix participants

En rouge, les occurrences des appuis mentaux (AM) regroupés par modalité sensorielle. AM1 à AM4, auditifs (Aud) ; AM5 à AM8, visuels (Vis) ; AM9 à AM11, kinesthésiques (Kin). En bleu, les occurrences de représentations mentales (RM) des modalités auditives (Aud), visuelles (Vis) et kinesthésiques (Kin). r_{AM-RM} et R^2_{AM-RM} indiquent les corrélations de Pearson et les coefficients de détermination entre les occurrences d'AM et de RM, respectivement. Les coefficients de détermination R^2_{AM-RM} illustrent, au cas par cas, la proportion de la variance dans les trois modalités des représentations mentales (variables dépendantes) qui est prévisible à partir des trois modalités des appuis mentaux (variables indépendantes).

La corrélation entre la typologie des appuis mentaux et la modalité sensorielle liée aux représentations mentales suggère une relation fonctionnelle telle qu'une intégration ou une fusion mentale des AM pour la construction des RM. Nous avons extrait les éléments de texte correspondant

à cette étape (étape 3). Le vocabulaire était extrêmement diversifié d'un musicien à l'autre (résultats non montrés). Nous avons détecté des associations, des fusions, des comparaisons et d'autres manipulations des appuis mentaux. Cela pourrait à la fois refléter la diversité dans l'utilisation des appuis mentaux et être une conséquence des différents degrés de conscience dans le processus d'introspection. L'étude de cet aspect nécessiterait un futur travail approfondi distinct.

3.2.2 Analyse complète sur l'ensemble du groupe de soixante-sept musiciens : sélection des AM et influence de l'expertise

Dans une étape suivante, nous avons compté les occurrences d'appuis mentaux pour chacune des onze catégories dans les entretiens restants. Dans onze d'entre elles, il n'a pas été possible d'extraire correctement les appuis, de sorte que ces entretiens ont été exclus des analyses ultérieures. Le premier cas était celui d'un étudiant, trop jeune pour accomplir de manière satisfaisante la tâche de reconnaissance des notes (P137, 6 ans). Les quatre autres étudiants, tous guitaristes, ne pouvaient identifier les notes qu'en se référant à la position sur le manche de la guitare et n'ont pas pu les nommer (P106, P115, P141 et P159). Pour trois musiciens professionnels (P146, P147 et P152), les entretiens ont été menés sans aucun test auditif, de sorte que leurs descriptions mentales étaient trop génériques et limitées à des discours sur la façon dont ils entendaient les notes. Notons que l'un de ces musiciens (P147), qui joue d'un instrument africain, le balafon, n'avait pas l'habitude de pratiquer la reconnaissance de la hauteur de son instrument ; cette hauteur était plutôt utilisée pour saisir, selon le contexte musical, une signification sémantique. Ceci est un exemple de l'une des limites de notre étude, restreinte au contexte de la musique classique occidentale. Enfin, pour trois musiciens professionnels (P125, P127 et P134), le nombre d'occurrences d'appuis identifiés dans le texte était trop faible (moins de dix au total) pour être pris en compte.

<i>H₀ : la distribution des appuis mentaux parmi les onze catégories pour le groupe pilote est la même que celle pour le reste des entretiens</i>		
AM	<i>p</i>	<i>H₀ est correcte (CL = 95%)</i>
AM1	.469	OUI
AM2	.347	OUI
AM3	.451	OUI
AM4	.136	OUI
AM5	.316	OUI
AM6	.883	OUI
AM7	.795	OUI
AM8	.190	OUI
AM9	.114	OUI
AM10	.715	OUI
AM11	.010	NON

Tableau 6. Test de Kolmogorov-Smirnov

Cohérence des méthodes utilisées pour attribuer des occurrences d'appuis mentaux aux deux groupes : groupe pilote de 10 participants et les 46 participants restants (hypothèse d'échantillons indépendants). Ho, hypothèse nulle ; p, probabilité de satisfaire Ho ; CL, niveau de confiance.

L'identification des appuis mentaux a ainsi été réalisée pour 46 participants supplémentaires. Pour ce groupe, les affectations des occurrences pour chaque catégorie ont été fournies conjointement par deux des auteurs (AL et PL). Un test de Kolmogorov-Smirnov (KS) a été effectué, afin de vérifier si les résultats étaient cohérents avec ceux obtenus pour le groupe pilote (Tableau 6). Pour dix des onze catégories d'AM, le test KS a donné une réponse positive : l'hypothèse nulle, selon laquelle la répartition des appuis mentaux entre les différentes catégories du groupe pilote était la même que pour

le reste des musiciens, était correcte avec un niveau de confiance de 95%. Dans le cas d'AM11 (sensations spécifiques à une note, différentes des gestes vocaux ou instrumentaux), les résultats des deux groupes n'étaient pas cohérents entre eux dans la mesure où un pourcentage beaucoup plus élevé de participants (70% soit 7/10) du groupe pilote a mentionné l'AM11 ; en revanche, seuls six nouveaux participants (13% soit 6/46) ont fait référence à de telles sensations corporelles. Ceci peut être une conséquence de la grande diversité du profil des sujets sélectionnés dans l'étude pilote initiale. Le nombre d'occurrences dans chaque catégorie d'AM pour l'ensemble des 56 participants est indiqué dans le Tableau 7.

La fourchette du nombre de ces occurrences est assez large (entre 0 et 115). Dans certains cas, une entrée peut être surreprésentée simplement parce que l'entretien a porté plus profondément sur un appui mental donné, sans que cela signifie nécessairement que cet appui soit plus important que les autres (voir le cas de P110, évoqué plus haut). Afin de normaliser ces résultats, seules les entrées comportant au moins 10 % du nombre total d'occurrences pour un participant donné ont été comptées. Pour les entretiens à faible nombre d'occurrences (moins de 30), seules les entrées comportant au moins trois occurrences ont été prises en compte. Inversement, pour les entretiens très riches (plus de 100 occurrences), nous avons retenu toutes les entrées comportant au moins dix occurrences. Une telle analyse a permis de restituer, pour chaque musicien, une signature pour l'utilisation de ses appuis mentaux préférés, à l'exclusion de ceux moins utilisés. Cela nous a permis de convertir l'ensemble des occurrences affiché dans le Tableau 7 en un ensemble binaire de 0 et 1, en convertissant les entrées représentatives (c'est-à-dire retenues) en 1 et les entrées non représentatives (c'est-à-dire très peu seulement ou pas d'entrée) en 0, comme indiqué dans le Tableau 8.

En suivant cette procédure, nous avons constaté que six catégories principales étaient utilisées par au moins seize musiciens : AM1 à AM6. Deux d'entre elles étaient les plus représentées : AM1, "Entendre" le nom ou une partie du nom d'une note, 31 musiciens ; et AM4, "reconnaissance des notes par l'association de la hauteur des notes avec des teintes auditives spécifiques, ou la notion de "timbre-hauteur", 32 musiciens. Trois catégories ont été rarement sélectionnées (AM7, AM9 et AM10, respectivement par 9, 8 et 13 musiciens) et deux catégories ont été très rarement utilisées (AM8 et AM11, respectivement par 3 et 4 musiciens). On peut noter que les quatre catégories auditives, AM1 à AM4, ont été les plus sélectionnées. En moyenne, les participants ont sélectionné trois catégories ; certains n'ont mentionné qu'une seule catégorie, tandis que d'autres diversifient leurs appuis jusqu'à cinq catégories.

En outre, de manière assez surprenante pour une tâche d'identification de note, certains musiciens professionnels (P101, P112, P135 et P161) ont attribué différents types de valence émotionnelle ou esthétique à la note ; cela a eu un impact notable sur le processus de reconnaissance et doit être considéré comme une caractéristique complémentaire. Par exemple, P112 a déclaré "*le Si est présenté comme cette note faible, la sensible, fragile... , donc elle devient un peu attachante et on la sent petite*", alors que P161 a déclaré : "*Sol majeur m'a renvoyé notamment à une œuvre essentielle pour moi qui est la Grande Fantaisie triptyque pour orgue de Bach (...) J'y suis renvoyé comme au sein maternel*". Ces observations nécessiteraient une étude plus approfondie.

Stratégies mentales pour l'identification des notes

Participant	AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6	AM7	AM8	AM9	AM10	AM11	Total
P101		8	20	15				10	3		13	69
P102		2	5			21				19		47
P103			10	5	24		1					40
P104			6	9	1					2		18
P105	5	6	2	3	14	2			14	9		55
P107		6		7		5						18
P108	1		6	7		7			2			23
P109	18	10	29	3	21				3	4		88
P110		34					14	6	6		58	118
P111	6	4	5	8	1	6				1		31
P112	41	1		22	1	8	17	10	5	16	6	127
P113					13					2		15
P114		2		40		3				12		57
P116		1	27			3			6			37
P117	14			7								21
P118				4		10				2		16
P119	12	26		1		2						41
P120	8	6	1	3								18
P121		10				9				4	3	26
P122	38	3		5						9		55
P123	115	1		14					9	8	5	152
P124	10	6		7	14	3	2			10		52
P126	60	6			2	13			26	22	1	130
P128	4	3		36		42	6			4		95
P129		1	14	5	8	4	14			4		50
P130	61			11	2		3			1	1	79
P131		12		41		5			3	11	1	73
P132	3	6	7			3	59	6	2		1	87
P133	3	36		8		10			7	17	5	86
P135		4	13	3	1	23			7			51
P136	1	22		9	1	1				1		35
P138	22	1		21								44
P139	26		4	13					8			51
P140	24	10	30	23	6		14			3		110
P142	1	19		2					2	1		25
P143			9		18							27
P144	50	5							13		18	86
P145	7	3	8		7	1	12		4			42
P148	48	40		1		21				1		111
P149	15	6	7	16								44
P150	8	12	7	2	15					3		47
P151	49		1	1		7				3		61
P153	25			5	9	1						40
P154	20				1					1		22
P155			7			1	32	1	1	5	4	51
P156		1	6		14	3				1		25
P157	13		1	6	7		3		9	1		40
P158		8	5	3	10		1					27
P160	8	12	1	4	17	1				11		54
P161	31	12		19	9	5				5		81
P162	26	2		14								42
P163	29	5			8	4	2					48
P164		42		10		16	28	18		1		115
P165	13	24		8		13	2		4	17	1	82
P166	19	2		4	1		14			2		42
P167	10			9	7	13			1			40
Total	844	420	231	434	232	266	224	51	135	213	117	3167

Tableau 7 Nombre d'occurrences d'appuis mentaux pour l'ensemble des 56 musiciens

Le nombre total d'occurrences pour chaque musicien est indiqué dans la colonne de droite. Le nombre total d'occurrences pour chaque appui mental est indiqué à la ligne inférieure.

Stratégies mentales pour l'identification des notes

Participant	AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6	AM7	AM8	AM9	AM10	AM11	Total
P101	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	5
P102	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	3
P103	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	3
P104	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2
P105	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	5
P107	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	3
P108	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	3
P109	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	4
P110	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	3
P111	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	5
P112	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	5
P113	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
P114	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	2
P116	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	2
P117	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
P118	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2
P119	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
P120	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3
P121	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	4
P122	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	3
P123	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
P124	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	5
P126	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	4
P128	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2
P129	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	4
P130	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
P131	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	3
P132	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
P133	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	3
P135	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	3
P136	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
P138	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
P139	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	3
P140	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	5
P142	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P143	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2
P144	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	3
P145	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	5
P148	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3
P149	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	4
P150	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	4
P151	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2
P153	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	3
P154	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P155	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	3
P156	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	3
P157	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	4
P158	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	4
P160	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	4
P161	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	4
P162	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
P163	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3
P164	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	5
P165	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	5
P166	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	3
P167	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	4
Total	31	24	18	32	17	16	9	3	8	13	4	175

Tableau 8 Signatures binaires pour les appuis mentaux du groupe complet de 56 musiciens

1, utilisation de l'appui mental ; 0, non-utilisation de l'appui mental. Le nombre de catégories différentes d'appuis mentaux utilisés par chaque sujet est indiqué dans la colonne de droite. Le nombre de sujets utilisant une catégorie donnée d'appui mental est indiqué à la ligne inférieure du tableau.

L'utilisation très variée des appuis mentaux nous a incité à examiner de plus près le statut du participant (sexe et expertise, voir Tableau 9). La comparaison entre étudiants et professionnels a montré que la recherche de hauteurs de notes par l'utilisation de gammes montantes ou descendantes

(AM3), ainsi que la "vision" de la note sur la portée, ou "vision" du nom de la note (AM5), étaient principalement utilisées par les étudiants, alors que la reconnaissance d'intervalles ou de motifs sonores formellement appris qui combinent plusieurs notes (AM2) ou la sensation d'un geste instrumental associé à la production d'une note (AM10) étaient plus utilisés par les musiciens professionnels (valeurs $p < 0,005$ et égales à 0,029, 0,011 et 0,061 pour AM3, AM5, AM2 et AM10, respectivement). Le faible nombre de musiciennes (4) dans le groupe professionnel (22) ne nous a pas permis d'analyser un effet de genre pour ces musiciens professionnels. En revanche, la comparaison, chez les étudiants, entre garçons et filles a permis de mettre en évidence que les catégories AM5 et AM9 (sensation d'un geste vocal associé à la production d'une note) étaient principalement utilisées par les filles (valeurs p de 0,002 et 0,006 pour AM5 et AM9, respectivement). De plus, chez les hommes, l'AM3 (utilisation de gammes ascendantes ou descendantes) est principalement choisi par les étudiants (8 étudiants contre 1 musicien professionnel, valeur p de 0,018), tandis que l'AM2 est principalement utilisé par des musiciens professionnels (11 musiciens professionnels contre 5 étudiants, valeur p de 0,044). L'utilisation apparemment préférée de l'AM10 par les musiciens professionnels masculins (7 musiciens professionnels contre 3 étudiants) n'est pas statistiquement significative (valeur p de 0,137).

Taille de l'échantillon	Groupe	AM 1	AM 2	AM 3	AM 4	AM 5	AM 6	AM 7	AM 8	AM 9	AM 10	AM 11
56	Tous	31	24	18	32	17	16	9	3	8	13	4
34	Etudiants	19	10	17	16	14	8	6	0	6	5	1
22	Professionnels	12	14	1	16	3	8	3	3	2	8	3
16	Etudiantes filles	8	5	9	6	11	3	2	0	6	2	1
18	Etudiants garçons	11	5	8	10	3	5	4	0	0	3	0
18	Professionnels hommes	10	11	1	14	2	7	1	2	2	7	2

Tableau 9 Utilisation des différents appuis mentaux, en fonction de leur genre et de leur expertise

Le nombre total de participants par groupe est indiqué à gauche.

Inspirés par la forte corrélation entre les appuis mentaux et les représentations mentales sur le groupe pilote (cf. Figure 3), nous avons regroupé les 56 participants en fonction de leur préférence pour les différentes modalités sensorielles (Tableau 10). Suite à notre classification des appuis mentaux en trois catégories, à savoir les modalités auditives (AM1-AM4), visuelles (AM5-AM8) et kinesthésiques (AM9-AM11), les participants ont été réunis en cinq groupes : strictement auditif ; strictement visuel ; auditif et visuel ; auditif et kinesthésique ; auditif, visuel et kinesthésique. Tous les participants, à l'exception des deux étudiants (P113 et P132) appartenant au groupe strictement visuel, ont été regroupés selon des modalités sensorielles qui incluaient toujours la dimension auditive : strictement auditif, 12 participants ; auditif et visuel, 21 participants ; auditif et kinesthésique, 6 participants ; auditif, visuel et kinesthésique, 15 participants. L'étudiant P113 n'a utilisé qu'un seul appui mental, AM5 ("vision" de la note à l'intérieur de la portée). Notons qu'AM5 est généralement utilisé par les étudiants. Cela suggère que P113 pourrait encore posséder une faible stratégie de reconnaissance de la hauteur des notes. L'étudiant P132 a sélectionné AM7, en utilisant des motifs illustrant de petites parties du clavier (Figure 2 Panneau C). Son appui mental correspondait à une représentation schématique des intervalles de seconde majeure et mineure. Cependant, dans sa description, quelques autres appuis mentaux de type auditif, tels que la recherche des hauteurs de notes par l'utilisation de gammes ascendantes ou descendantes ont été mentionnés (AM3, voir Tableau 7). Ces appuis auditifs étaient clairement présents, bien que rarement cités : "*J'entends les notes se*

succéder dans ma tête, (...) je monte un intervalle, (...) comme si je chantais". Ces constatations le placent à proximité du groupe auditif-visuel.

Modalité sensorielle	Participant	Expertise	Genre	Oreille abs. ou relative	AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6	AM7	AM8	AM9	AM10	AM11
Auditive	P154	STU	M	ND	1										
	P119	STU	M	ND	1	1									
	P117*	STU	M	ND	1			1							
	P123*	PRO	M	abs	1			1							
	P130*	PRO	M	abs/rel	1			1							
	P138*	PRO	M	abs	1			1							
	P162*	STU	M	ND	1			1							
	P120	PRO	M	ND	1	1		1							
	P149	STU	M	abs	1	1	1	1							
	P142	STU	M	rel		1									
P136	PRO	M	rel		1		1								
P104	STU	M	ND				1	1							
Auditive et visuelle	P151	STU	M	ND	1					1					
	P163	PRO	F	abs	1	1			1	1					
	P148	PRO	M	rel	1	1				1					
	P153	STU	F	ND	1			1	1						
	P166	STU	M	ND	1			1			1				
	P167	STU	M	ND	1			1	1	1					
	P109*	STU	F	ND	1	1	1		1						
	P150*	STU	M	ND	1	1	1		1						
	P161	PRO	M	abs	1	1		1	1						
	P111	STU	M	ND	1	1	1	1		1					
	P140	STU	F	ND	1	1	1	1			1				
	P107	PRO	F	rel		1		1		1					
	P164	PRO	M	abs		1		1		1	1	1			
	P158	STU	F	ND		1	1	1	1						
	P143	STU	F	ND		1	1	1	1						
	P156	STU	F	ND			1	1	1	1					
	P103	STU	F	ND			1	1	1						
	P129	STU	M	ND			1	1	1			1			
P108	STU	M	abs			1	1			1					
P118*	STU	F	ND				1			1					
P128*	PRO	M	abs				1			1					
Auditive et kinesthésique	P144	STU	F	rel	1								1		1
	P139	PRO	M	abs	1			1					1		
	P122	STU	M	ND	1			1						1	
	P131	PRO	M	abs/rel		1		1						1	
	P116	STU	F	ND			1						1		
	P114	PRO	M	abs				1						1	
Auditive, visuelle et kinesthésique	P126	PRO	M	abs	1					1			1	1	
	P105	STU	F	ND	1	1			1	1			1	1	
	P160	STU	F	ND	1	1			1					1	
	P145	STU	F	ND	1	1	1		1		1		1		
	P157	STU	F	ND	1			1	1				1		
	P112	PRO	F	abs	1			1			1	1		1	
	P124	PRO	M	rel	1	1		1	1					1	1
	P165	PRO	M	abs	1	1		1			1				1
	P133	PRO	M	rel		1					1				1
	P121	PRO	M	rel		1					1				1
	P110	PRO	F	rel		1						1			1
	P101	PRO	M	rel		1	1	1				1			1
	P135	STU	F	ND			1				1			1	
	P102	STU	M	ND			1				1				1
P155	STU	M	ND			1					1			1	
Visuelle	P113	STU	F	ND					1						
	P132	STU	M	ND							1				

Tableau 10 Regroupement des participants sur la base des références aux modalités sensorielles

Les catégories AM1-AM4, AM5-AM8 et AM9-AM11 font référence respectivement aux modalités auditives, visuelles et kinesthésiques. Les cinq groupes identifiés sont indiqués dans la colonne de gauche. L'expertise (étudiant - STU ou professionnel - PRO), le genre (M ou F) et le type d'audition (oreille absolue - abs, oreille relative - rel, non déterminée - ND) sont affichés dans les colonnes de 3 à 5. Les participants dont les signatures sont identiques (5 sujets dans le groupe strictement auditif, et 2 paires de sujets dans le groupe auditif-visuel) sont indiqués par un astérisque (*). Notons que deux participants ont déclaré avoir une oreille absolue ou relative selon le contexte (P130 et P131).

L'analyse par groupes de modalités sensorielles distinctes nous a permis de faire plusieurs observations : tout d'abord, à l'exception des deux étudiants mentionnés ci-dessus, tous les participants ont utilisé des supports mentaux auditifs pour l'identification des notes. Deuxièmement, la majorité des participants (36 participants sur 56, étudiants et professionnels confondus) ont utilisé une modalité visuelle en association avec une modalité auditive pour leurs représentations multimodales des notes. 7 des 11 catégories des appuis mentaux (AM5 à AM11) impliquaient une modalité mentale sensorielle non auditive. AM1, qui correspond à entendre mentalement le nom ou une partie du nom de la note, fournit également un exemple de stratégie sensorielle transmodale, en l'occurrence la mise en relation du son et du langage - ce qui pourrait être interprété comme une sorte de synesthésie (Chun et Hupé, 2016). Plus précisément, les appuis mentaux et les représentations mentales dont la description par les 56 participants impliquait une modalité strictement auditive sont minoritaires : seuls 12 musiciens ont adopté des représentations mentales de ce type, dont 9 ont choisi l'appui AM1 (Tableau 10). Sur 175 entrées, seules 74 concernaient AM2, AM3 et AM4, c'est-à-dire des appuis d'une modalité mentale sensorielle strictement auditive (Tableau 9). En outre, tous les groupes présentaient une répartition équilibrée par genre, à l'exception du groupe strictement auditif qui était exclusivement composé d'hommes. Ce groupe était composé de sept garçons ; en comparaison, le groupe auditif-kinesthésique-visuel, comprenait cinq filles et deux garçons.

Dans une étape ultérieure, nous avons examiné de plus près une relation possible entre l'oreille absolue ou relative et l'utilisation d'appuis mentaux spécifiques, ainsi que la modalité sensorielle des représentations mentales (Tableau 10). Notons que si tous les musiciens professionnels, à l'exception d'un percussionniste (P120), ont pu qualifier la nature de leur oreille, seuls certains élèves ont pu le faire. Tous les participants (n=15) qui ont déclaré avoir une oreille absolue, sauf deux, ont pu identifier une signature (ou couleur) auditive spécifique pour chaque note (AM4). De même, tous les participants (n=12) qui ont déclaré avoir une oreille relative, sauf deux, ont pu identifier la hauteur de la note à partir d'une signature d'intervalle typique (AM2). En fait, on peut noter que les participants appartiennent à l'un quelconque des groupes liés à différentes modalités sensorielles quelle que soit la nature de l'oreille déclarée (absolue ou relative ; Tableau 10). Par conséquent, si l'utilisation de certains appuis mentaux est liée plus spécifiquement à une oreille absolue ou relative (par exemple AM4 pour l'oreille absolue et AM2 pour l'oreille relative), la typologie des représentations mentales, telle que rapportée par les groupes sensoriels multimodaux (auditif, auditif-visuel, etc.), ne fait pas de distinction entre ces deux capacités auditives.

Enfin, nous nous sommes demandé si les appuis détectés, bien qu'exprimant une riche diversité individuelle, ne cachent pas un nombre plus restreint de caractéristiques cognitives expliquant un ensemble plus limité de stratégies mentales pour la reconnaissance du son. Pour répondre à cette question, nous avons effectué une analyse en composantes principales sur l'ensemble des 11 catégories des appuis mentaux envisagées, dans le but de réduire le nombre de variables (les appuis). Il n'a pas été possible de réduire sensiblement le nombre de variables pour expliquer la variance globale, car l'explication des 74 % de la variance totale nécessiterait au moins six nouvelles variables, soit plus de 50 % du nombre initial de variables (c'est-à-dire les 11 catégories d'appuis ; Tableau 11).

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F1	F11
Variance expliquée (%)	15.75	13.59	13.15	11.68	11.03	8.74	6.92	6.24	5.24	3.91	3.75
Variance expliquée (proportion cumulative)	15.75	29.34	42.49	54.17	65.20	73.95	80.86	87.11	92.34	96.25	100

Tableau 11 Analyses en composantes principales (ACP) sur la répartition des appuis mentaux
 Variance expliquée (%) : pour chaque nouvelle dimension F_i , le pourcentage des données qui sont expliquées par F_i ; Variance expliquée (proportion cumulative) : pour chaque nouvelle dimension F_i , la variance totale des données qui est représentée par une combinaison linéaire de $F_j, j = 0, i$.

En considérant les deux nouvelles variables les plus influentes, seuls 29 % de la variance totale sont pris en compte. On peut noter que, selon ces deux dimensions, les participants ont été répartis différemment en fonction de leur expertise (étudiants ou musiciens professionnels) et de leur genre (Figure 4). Un ensemble de trois appuis, AM3, AM5 et AM9 (utilisation de gammes ascendantes ou descendantes, "vision" de la note sur la portée ou "vision" du nom de la note, ou sensation d'un geste vocal associé à la production d'une note) est principalement utilisé par les étudiants, en particulier par les filles. Cette répartition suggère que l'apprentissage dans les conservatoires peut déclencher, différemment selon le sexe, l'utilisation d'appuis mentaux spécifiques.

Dans l'ensemble, l'analyse en composantes principales n'a pas permis de dégager de nouvelles stratégies mentales prototypiques pour la reconnaissance de la hauteur des notes. Au contraire, la diversité des stratégies individuelles initialement décrites, utilisant une combinaison idiosyncrasique d'appuis mentaux, a été à nouveau soulignée.

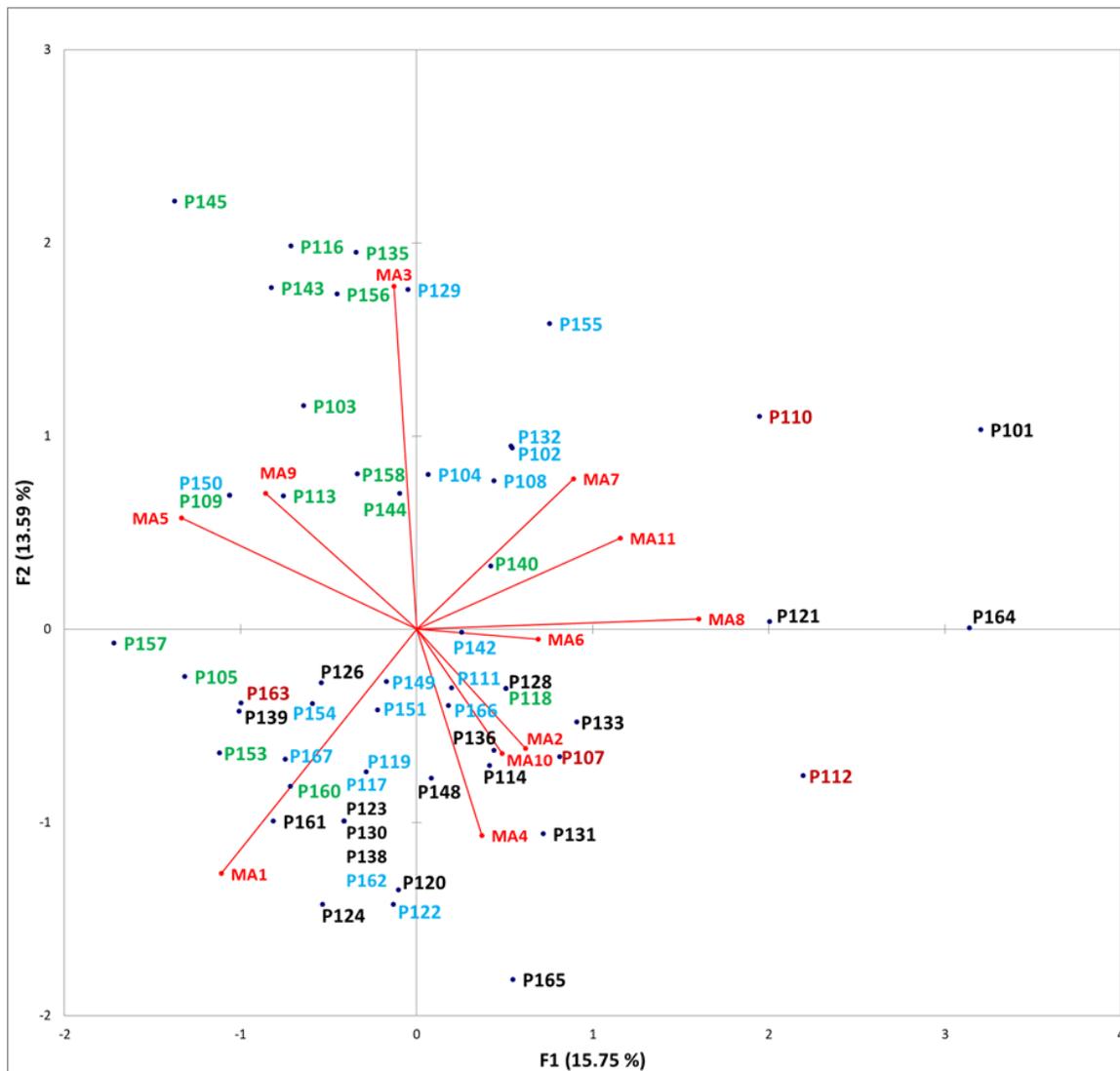


Figure 4 Analyse des composantes principales sur les appuis mentaux

Profils des principales modalités fonctionnelles identifiées, en termes d'utilisation des appuis mentaux (vecteurs rouges) par les participants (points). Un diagramme de corrélation est fourni pour les deux nouvelles variables les plus significatives : étudiantes, 16 participantes, en vert ; étudiants garçons, 18 participants, en bleu clair ; musiciennes professionnelles, 4 participantes, en brun ; musiciens professionnels hommes, 18 participants, en noir.

4. Discussion

Cette étude porte sur le thème de la reconnaissance des hauteurs de notes par les étudiants en musique et les musiciens experts. Notre objectif était de décrypter les stratégies mentales utilisées par les participants pour accomplir cette tâche. Nous avons adopté une approche phénoménologique combinant des analyses qualitatives des entretiens basées sur l'introspection avec des analyses statistiques quantitatives réalisées sur la catégorisation des descripteurs mentaux qui en résulte.

Dans un premier temps, nous avons identifié les éléments mentaux qui permettent aux musiciens d'identifier et de nommer une hauteur de note. Nous avons appelé ces éléments des appuis mentaux. Nous avons constaté que les appuis mentaux peuvent être de différentes sortes ; ils peuvent être classés selon leur relation avec certaines des principales modalités sensorielles, c'est-à-dire auditives, visuelles et kinesthésiques. Les appuis mentaux semblent être pour la plupart non épistémiques, car ils ne contiennent que rarement, s'ils sont considérés isolément, un contenu conceptuel bien établi. C'est par leur agrégation et leur association avec les visées intentionnelles des individus que l'activation et la stabilisation d'une représentation mentale communicable peuvent être obtenues. Nous proposons que les appuis mentaux puissent agir en même temps comme véhicules et comme éléments de la pensée. Nos résultats indiquent la nécessité de faire la distinction entre les appuis mentaux et les représentations mentales - conçues comme des images intérieures qui viennent à l'esprit, plus ou moins consciemment, pour fournir une explication et attribuer un sens au signal extérieur perçu. L'identification de tant d'appuis mentaux différents et leur lien avec des représentations mentales stables de noms de notes soulignent la forte connotation idiosyncrasique de ce processus perceptif. Nous avons observé que certaines catégories d'appuis étaient préférées par les étudiants, alors qu'elles étaient rarement choisies par les musiciens professionnels. Nos analyses détaillées sur les signatures des élèves ont également montré que les élèves garçons et filles se caractérisent par des profils différents, ce qui suggère qu'ils peuvent avoir adopté des attitudes d'apprentissage différentes concernant, par exemple, le temps passé à la dictée musicale, à l'interprétation ou au chant.

Nous reconnaissons qu'une approche purement phénoménologique par introspection utilisant des entretiens pour aborder directement la question de la pensée peut présenter une certaine faiblesse (cf. Johansson et al., 2005). Nous avons néanmoins entrepris une telle approche introspective (La Garanderie, 1989) dans l'esprit de la méthode de l'entretien d'explicitation (Vermersch, 1994). Nous avons essayé d'atteindre une certaine rigueur, en nous concentrant sur les descriptions texturales et stratégiques des objets mentaux liés à une tâche perceptive très spécifique mais simple, à savoir l'identification d'une seule ou de quelques notes par les musiciens. La manière dont nous avons mené nos entretiens était finalement similaire aux méthodes récemment proposées (Vermersch, 2009 ; Vion-Dury et Mougin, 2018) et en particulier aux entretiens micro-phénoménologiques, qui visent à identifier des objets mentaux très précis par rapport à des cibles perceptuelles (Petitmengin et al., 2019). Il est à noter que notre méthode d'entretien a constamment respecté l'objectif de relier les éléments mentaux décrits à la tâche proposée. Ceci est important, car les stratégies mentales décrites par les sujets interrogés par introspection sont probablement influencées par leurs visées intentionnelles (Petitmengin et al., 2009).

Les appuis mentaux jouent un rôle central dans l'identification des notes par les musiciens, en particulier en ce qui concerne les capacités individuelles, comme l'oreille relative ou absolue. Par exemple, l'AM2 - reconnaissance d'intervalles ou de motifs sonores formellement appris qui combinent plusieurs notes - est fréquemment associée à l'oreille relative, tandis que l'AM4 - reconnaissance des notes par l'association de la hauteur des notes avec des teintes auditives spécifiques, ou la notion de "timbre-hauteur" - est fréquemment associée à l'oreille absolue. L'origine de la capacité d'écoute musicale absolue ou relative est un sujet qui a été largement étudié, par exemple pour mesurer l'influence du contexte musical (Eitan et al., 2017) ou pour identifier les réseaux d'activation neuronaux

responsables de cette compétence (Wengenroth et al., 2014). Le lien entre oreille absolue et la mémorisation du nom des notes a déjà été signalé par Takeuchi et Hulse (1993), qui ont observé que les individus ayant une oreille absolue présentent des capacités de mémorisation très différentes les uns des autres. Nous avons constaté que les musiciens ayant des capacités d'oreille absolue ou relative peuvent utiliser l'AM1 - "Entendre" le nom ou une partie du nom d'une note. Nous sommes également arrivés à la conclusion que l'oreille absolue était souvent ... relative : les musiciens associent, par exemple, le nom et la hauteur uniquement à des sons complexes et non à des sons purs. Bien qu'il soit assez courant de distinguer clairement ces deux catégories d'individus dans l'identification des notes, notre étude montre que ces deux capacités auditives sont modulées par la mise en œuvre d'une grande diversité d'appuis mentaux, permettant d'importants niveaux de flexibilité. De plus, dans les deux groupes d'audition, il semble que les musiciens cherchent à établir une relation cohérente entre les appuis mentaux et les hauteurs de son, même lorsque ces dernières sont approximativement exécutées : "L'oreille cherche, à travers les "imprécisions" portées par les approximations dans les hauteurs, des "êtres" musicaux typiques". (Francès, 1958, p. 36).

Les appuis mentaux, par leur texture et leur contenu stratégique induit, fournissent des informations cruciales sur les différentes façons dont un stimulus sensoriel peut être conceptualisé. En outre, nous avons observé que la capacité à identifier une hauteur de son ne dépend pas seulement du type d'appui mental, mais aussi des visées intentionnelles des musiciens : selon l'intention, le contenu conceptuel d'un appui mental donné est susceptible de changer. Par exemple, certains musiciens ne peuvent pas utiliser l'appui mental AM1 - "entendre" le nom ou une partie du nom d'une note - lorsqu'une mélodie contient des paroles, comme cela a déjà été signalé dans la littérature (Ihde, 1976). En ce qui concerne l'AM2 - reconnaissance d'intervalles ou de motifs sonores formellement appris qui combinent plusieurs notes - l'attention peut se porter soit sur les intervalles séparant les notes d'un accord soit plutôt sur l'accord lui-même pris dans son ensemble. De même, le fait que les musiciens peuvent soit percevoir les notes individuelles d'un accord, soit l'accord lui-même dans son ensemble a déjà été signalé (Stumpf, 1890). Les appuis mentaux peuvent ainsi déclencher des processus de perception de divers degrés de complexité avec une efficacité et une rapidité apparemment égales. La texture des représentations mentales est également un concept qui a déjà été abordé en philosophie, par exemple par Sandra Laugier (2003) : "Une représentation [mentale] peut être une relation (quelque chose qui est représenté à quelqu'un), mais [peut également agir comme] un véhicule pour l'entité qui est représentée (contenu, déclaration, état, perception)" (p. 291). Bien que les représentations mentales soient spécifiques à chaque individu, elles établissent néanmoins le terrain commun pour la communication des signaux perçus (Charest et Kriegeskorte, 2015 ; Stacchi et al., 2019). La variabilité interindividuelle de la cognition auditive est également étudiée dans des expériences psychoacoustiques spécifiques (Pelofi et al., 2017). Ces expériences pourraient à l'avenir être utilement combinées avec des descripteurs phénoménologiques appropriés des stratégies mentales.

Un résultat significatif de notre étude est l'identification des appuis mentaux et des représentations mentales de modalités autres qu'auditives. Les modalités visuelles et kinesthésiques sont bien représentées. Les représentations mentales intégrant une modalité sensorielle visuelle sont assez courantes chez les musiciens (Mongelli et al., 2017) et la modalité kinesthésique pourrait s'avérer plus importante que ce que nous avons trouvé - comme le montrent également d'autres études (Brodsky et al., 2008 ; Godøy et Leman, 2010). En résumé, notre enquête a confirmé la dimension multimodale de toute représentation de la hauteur des notes. Cette conclusion est conforme à l'hypothèse d'une dimension multimodale de toute représentation mentale, y compris celles liées à des stimuli élémentaires et apparemment unidimensionnels (Nanay, 2018). L'activation simultanée de différentes modalités sensorielles par les musiciens rappelle le phénomène de la synesthésie, un sujet largement abordé en psychologie cognitive et en neurosciences (Gregersen et al., 2013 ; Bouvet et al., 2014 ; Chun et Hupé, 2016 ; Itoh et al., 2017). Selon Chiou et al. (2013), les sons suscitent des expériences

visuelles cohérentes d'"objets géométriques" colorés situés à un endroit précis dans l'espace pour un groupe de synesthètes. En d'autres termes, des changements de la hauteur des notes peuvent modifier ces éléments mentaux visuels de manière systématique, ce qui ressemble aux correspondances intermodales que nous avons observées ici. Dans une autre étude, Loui et ses collaborateurs (2012) ont demandé si les possesseurs de l'oreille absolue et les synesthètes de « couleur sonore » pouvaient recruter des mécanismes neuronaux spécialisés pendant l'écoute de la musique. Les résultats ont confirmé l'existence de réseaux activés neuronaux communs et distincts. Jusqu'à présent, cependant, ces recherches ne convergent pas vers une explication unique basée sur des processus mécanistes précis. La synesthésie a traditionnellement été expliquée comme un phénomène purement perceptif. Cependant, des études de neuroimagerie ont montré que la synesthésie des couleurs de la musique peut inclure une sorte d'inducteur conceptuel et sémantique. Cela plaide en faveur de l'abandon d'une connexion purement "sensorielle à sensorielle" (Curwen, 2018). Dans la même veine, Bragança et al. ont proposé l'existence d'un degré de synesthésie discret, inconscient, chez les non-synesthètes (Bragança et al., 2015). Une telle synesthésie latente, sans manifestations sensorielles explicites, serait fonctionnelle pendant l'expérience musicale, où les associations sensorielles suscitées par le son activent les souvenirs, les images et les émotions. À cet égard, notre étude peut suggérer de nouveaux développements expérimentaux pour aborder ce point : réaliser de la neuroimagerie sur des sujets qui rapportent différents appuis mentaux et des représentations multimodales est susceptible de révéler l'implication de zones sensorielles et d'associations qui dépassent le strict réseau de traitement auditif.

En résumé, les appuis mentaux utilisés par les musiciens pour l'identification des hauteurs de notes illustrent des aptitudes individuelles spécifiques combinées à des compétences acquises par un processus d'apprentissage qui intègre la théorie et la pratique musicales. À l'avenir, nous visons à approfondir ces observations, en étudiant une très large cohorte d'individus pour leur utilisation des différentes catégories d'appuis mentaux, avec une attention particulière pour les étudiants en phase d'apprentissage. En outre, nous prévoyons d'examiner l'activité cérébrale de musiciens ayant le même type d'oreille (par exemple, une oreille soit absolue soit relative) mais utilisant différents appuis mentaux, et de comparer leurs profils lors de différentes tâches d'identification, comme la reconnaissance de notes isolées ou l'identification de notes au sein d'accords ou de séquences mélodiques.

5. Références

- Allen, E. J., Burton, P. C., Olman, C. A., and Oxenham, A. J. (2017). Representations of pitch and timbre variation in human auditory cortex. *J. Neurosci.* 37, 1284–1293. doi: 10.1523/jneurosci.2336-16.2016
- Borrelli, E., Nestler, C., Allis, D., and Sassone-Corsi, P. (2008). Decoding the epigenetic language of neuronal plasticity. *Neuron* 60, 961–974. doi: 10.1016/j.neuron.2008.10.012
- Bougeret, G. (2005). Harmonie, contrepoint, représentation : prélude à une didactique de l'écriture musicale. *Spirale* 2, 51–68. doi: 10.3406/spira.2005.2025
- Bouvet, L., Donnadieu, S., Valdois, S., Caron, C., Dawson, M., and Mottron, L. (2014). Veridical mapping in savant abilities, absolute pitch, and synesthesia: an autism case study. *Front. Psychol.* 5:106. doi: 10.3389/fpsyg.2014.00106
- Bragança, G. F. F., Fonseca, J. G. M., and Caramelli, P. (2015). Synesthesia and music perception. *Dement Neuropsychol.* 9, 16–23. doi: 10.1590/s1980-57642015dn91000004
- Brauchli, C., Leipold, S., and Jancke, L. (2019). Univariate and multivariate analyses of functional networks in absolute pitch. *Neuroimage* 189, 241–247. doi: 10.1016/j.neuroimage.2019.01.021
- Brodsky, W., Kessler, Y., Rubinstein, B.-S., Ginsborg, J., and Henik, A. (2008). The mental representation of music notation: notational audiation. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 34, 427–445. doi: 10.1037/0096-1523.34.2.427

- Burkhard, A., Elmer, S., and Jancke, L. (2019). Early tone categorization in absolute pitch musicians is subserved by the right-sided perisylvian brain. *Sci. Rep.* 9, 1419–1432. doi: 10.1038/s41598-018-38273-0
- Charest, I., and Kriegeskorte, N. (2015). The brain of the beholder: honouring individual representational idiosyncrasies. *Language Cogn. Neurosci.* 30, 367–379. doi: 10.1080/23273798.2014.1002505
- Chiou, R., Stelter, M., and Rich, A. N. (2013). Beyond colour perception: auditory-visual synaesthesia induces experiences of geometric objects in specific locations. *Cortex* 49, 1750–1763. doi: 10.1016/j.cortex.2012.04.006
- Chun, C., and Hupé, J. M. (2016). Are synaesthetes exceptional beyond their synaesthetic associations? A systematic comparison of creativity, personality, cognition, and mental imagery in synesthetes and controls. *Br. J. Psychol.* 107, 397–418. doi: 10.1111/bjop.12146
- Curwen, C. (2018). Music-colour synaesthesia: concept, context and qualia. *Conscious. Cogn.* 61, 94–106. doi: 10.1016/j.concog.2018.04.005
- Dehaene, S., and Changeux, J. P. (2011). Experimental and theoretical approaches to conscious processing. *Neuron* 70, 200–227. doi: 10.1016/j.neuron.2011.03.018
- Depraz, N., Varela, F. J., and Vermersch, P. (2003). *On becoming aware. A pragmatics of experiencing.* Boston, MA: John Benjamins.
- Deutsch, D. (2013). “Absolute pitch,” in *The Psychology of Music*, 3rd Edn, ed. D. Deutsch (Cambridge, MA: Academic Press), 141–182.
- Eitan, Z., Ben-Haim, M. S., and Margulis, E. H. (2017). Implicit absolute pitch representation affects basic tonal perception. *Music Percept.* 34, 569–584. doi: 10.1525/mp.2017.34.5.569
- Francès, R. (1958). *La perception de la musique.* Paris: Librairie philosophique J. Vrin.
- Godøy, R. I., and Leman, M. (2010). *Musical gestures: Sound, movement and meaning.* London: Routledge.
- Graves, J. E., and Oxenham, A. J. (2019). Pitch discrimination with mixtures of three concurrent harmonic complexes. *J. Acoustic Soc. Am.* 145, 2072–2083. doi: 10.1121/1.5096639
- Gregersen, P. K., Kowalsky, E., Lee, A., Baron-Cohen, S., Fisher, S. E., Asher, J. E., et al. (2013). Absolute pitch exhibits phenotypic and genetic overlap with synesthesia. *Hum. Mol. Genet.* 22, 2097–2104. doi: 10.1093/hmg/ddt059
- Grigorenko, E., Kornilov, S., and Naumova, O. (2016). Epigenetic regulation of cognition: a circumscribed review of the field. *Dev. Psychopathol.* 28, 1285–1304. doi: 10.1017/s0954579416000857
- Howell, D. C. (2013). *Statistical methods for psychology*, 8 Edn. Belmont, CA: Wadsworth Cengage Learning.
- Hsieh, I.-H., and Saberi, K. (2008). Language-selective interference with long term memory for musical pitch. *Acta Acust. United Acustica* 94, 588–593. doi: 10.3813/aaa.918068
- Husserl, E. (1928). *Leçons pour une phénoménologie de la conscience intime du temps.* Paris: PUF.
- Ihde, D. (1976). *Listening and voice. A phenomenology of sound.* Athens: Ohio University Press.
- Itoh, K., Sakata, H., Kwee, I. L., and Nakada, T. (2017). Musical pitch classes have rainbow hues in pitch class-color synesthesia. *Sci. Rep.* 7, 17781–17790. doi: 10.1038/s41598-017-18150-y
- Johansson, P., Hall, L., Sikström, M., and Olsson, M. (2005). Failure to detect mismatches between intention and outcome in a simple decision task. *Science* 309, 116–119. doi: 10.1126/science.1111709
- Kim, S. G., and Knösche, T. R. (2017). On the perceptual subprocess of absolute pitch. *Front. Neurosci.* 11:557. doi: 10.3389/fnins.2017.00557
- La Garanderie, A. (1989). *Défense et illustration de l'introspection.* Paris: Le Centurion.
- Laplane, L., Mantovani, P., Adolphs, R., Chang, H., Mantovani, A., McFall-Ngai, M., et al. (2019). Why science needs philosophy. *PNAS* 116, 3948–3952.
- Laugier, S. (2003). “La perception est-elle une représentation ?,” in *Philosophies de la Perception*, eds J. Bouveresse, and J.-J. Rosat (Paris: Odile Jacob), 291–313.

- Leipold, S., Brauchli, C., Greber, M., and Jancke, L. (2019). Absolute and relative pitch processing in the human brain: neural and behavioral evidence. *Brain Struct. Funct.* 224, 1723–1738. doi: 10.1007/s00429-019-01872-2
- Letailleur, A. (2017). *Figurations du réel : l'exemple musical. Appuis mentaux, visées, saisies et reprojctions dans l'architecture cognitive.* Paris: Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales.
- Levitin, D. J., and Rogers, S. E. (2005). Absolute pitch: perception, coding, and controversies. *Trends Cogn. Sci.* 9, 26–33. doi: 10.1016/j.tics.2004.11.007
- Levitin, D. (2012). What does it mean to be musical? *Neuron* 73, 633–637. doi: 10.1016/j.neuron.2012.01.017
- Loui, P., Zamm, A., and Schlaug, G. (2012). “Absolute pitch and synesthesia: two sides of the same coin? Shared and distinct neural substrates of music listening,” in *Proceedings of ICMPC-ESCOM 2012*, eds E. Cambouropoulol, C. Tsougras, P.Mavromatis, and C. Pasiadis (Thessaloniki: Aristotle University of Thessaloniki), 618–623.
- McHugh, M. L. (2012). Interrater reliability: the kappa statistic. *Biochem. Medica* 22, 276–282. doi: 10.11613/bm.2012.031
- McKetton, L., DeSimone, K., and Schneider, K. A. (2019). Larger auditory cortical area and broader frequency tuning underlie absolute pitch. *J. Neurosci.* 39, 293–2937. doi: 10.1523/jneurosci.1532-18.2019
- Mongelli, V., Dehaene, S., Vinckier, F., Peretz, I., Bartolomeo, P., and Cohen, L. (2017). Music and words in the visual cortex: the impact of musical expertise. *Cortex* 86, 260–274. doi: 10.1016/j.cortex.2016.05.016
- Nanay, B. (2018). Multimodal mental imagery. *Cortex* 105, 125–134. doi: 10.1016/j.cortex.2017.07.006
- Norman-Haignere, S., Kanwisher, N., McDermott, J. H., and Conway, B. R. (2019). Divergence in the functional organization of human and macaque auditory cortex revealed by fMRI responses to harmonic tones. *Nat. Neurosci.* 22, 1057–1060. doi: 10.1038/s41593-019-0410-7
- O'Donnell, K. J., and Meaney, M. J. (2020). Epigenetics, development, and psychopathology. *Annu. Rev. Clin. Psychol.* 16, 327–350. doi: 10.1146/annurevclinpsy-050718-095530
- Ollagnier-Beldame, M. (2019). Expérience corporelle, cognition et émergence de sens. *Intellectica* 71, 21–38.
- Pelofi, C., de Gardelle, V., Egré, P., and Pressnitzer, D. (2017). Interindividual variability in auditory scene analysis revealed by confidence judgements. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 372:20160107. doi: 10.1098/rstb.2016.0107
- Peretz, I., Vuvan, D., Lagrois, M. E., and Armony, J. L. (2015). Neural overlap in processing music and speech. *Phil. Trans. R. Soc. B* 370:20140090. doi: 10.1098/rstb.2014.0090
- Petitmengin, C., Bitbol, M., Nissou, J.-M., Pachoud, B., Curallucci, H., Cermolacce, M., et al. (2009). Listening from within. *J. Conscious. Stud.* 16, 252–284.
- Petitmengin, C., and Lachaux, J. P. (2013). Microcognitive science: bridging experiential and neuronal microdynamics. *Front. Hum. Neurosci.* 7:617. doi: 10.3389/fnhum.2013.00617
- Petitmengin, C., Bitbol, M., and Ollagnier-Beldame, M. (2015). Vers une science de l'expérience vécue. *Intellectica* 64, 53–76.
- Petitmengin, C., Remillieux, A., and Valenzuela-Moguillansky, C. (2019). Discovering the structures of lived experience. Towards a microphenomenological analysis method. *Phenomenol. Cogn. Sci.* 18, 691–730. doi: 10.1007/s11097-018-9597-4
- Schneider, P., Sluming, V., Roberts, N., Scherg, M., Goebel, R., Specht, H. J., et al. (2005). Structural and functional asymmetry of lateral Heschl's gyrus reflects pitch perception preference. *Nat. Neurosci.* 8, 1241–1247. doi: 10.1038/nn1530
- Stacchi, L., Ramon, M., Lao, J., and Caldara, R. (2019). Neural representations of faces are tuned to eye movements. *J. Neurosci.* 39, 4113–4123. doi: 10.1523/jneurosci.2968-18.2019
- Stumpf, C. (1890). *Tonpsychologie*, Vol. II. Leipzig: Hirzel.
- Takeuchi, A. H., and Hulse, S. H. (1993). Absolute Pitch. *Psychol. Bull.* 113, 345–361.

Thomas, N. J. T. (2019). "Founders of experimental psychology: Wilhelm Wundt and William James," in *Suppl to "Mental Imagery"*, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, ed. E. N. Zalta (Stanford: Metaphysics Research Lab, Stanford University).

Varela, F., Lachaux, J. P., Rodriguez, E., and Martinerie, J. (2001). The brainweb: Phase synchronization and large-scale integration. *Nat. Rev.* 2, 229–239. doi: 10.1038/35067550

Vermersch, P. (1994). *L'entretien d'explicitation*. Paris: Editions Sociales Françaises.

Vermersch, P. (2004). L'attention entre phénoménologie et sciences expérimentales, éléments de rapprochement. *Intellectica* 38, 325–362. doi: 10.3406/intel.2004.1717

Vermersch, P. (2009). Describing the practice of introspection. *J. Conscious. Studies* 16, 20–57.

Vion-Dury, J., and Mougin, G. (2018). L'exploration de l'expérience consciente : archéologie d'une démarche de recherche. Vers l'entretien phénoménologique expérientiel (EPE). *Chroniques Phénoménol.* 11, 43–57.

Wengenroth, M., Blatow, M., Heinecke, A., Reinhardt, J., Stippich, C., Hofmann, E., et al. (2014). Increased volume and function of right auditory cortex as a marker for absolute pitch. *Cereb. Cortex* 24, 1127–1137. doi: 10.1093/cercor/bhs391

Zatorre, R. J., and Krumhansl, C. L. (2002). Mental models and musical minds. *Science* 298, 2138–2139. doi: 10.1126/science.1080006

6. Remerciements

Cette étude n'aurait pas été possible sans la précieuse contribution de tous les participants. Nous les remercions tous chaleureusement.

Toute notre reconnaissance va à Heinz Wismann et Pierre-Marie Lledo pour leur intérêt et leur encouragement constants pendant le développement de ce projet.

Nous remercions également Jean-Pierre Hardelin, Jean-Michel Hupé, Lydie Lane, Pierre-Marie Lledo, Antoine Nissant et Heinz Wismann pour leurs commentaires très utiles sur la version initiale du manuscrit.

Nous sommes reconnaissants à tous les reviewers anonymes et à l'éditeur pour leurs remarques très pertinentes et leurs nombreuses suggestions d'amélioration de la version initiale de ce document.

Ce travail a été soutenu et partiellement financé par la SACEM.