



**HAL**  
open science

# Les outils numériques pour l'optimisation des apprentissages auditifs et musicaux

David Munive Benites

► **To cite this version:**

David Munive Benites. Les outils numériques pour l'optimisation des apprentissages auditifs et musicaux. Musique, musicologie et arts de la scène. Sorbonne Université, 2024. Français. NNT : 2024SORUL133 . tel-04958138

**HAL Id: tel-04958138**

**<https://theses.hal.science/tel-04958138v1>**

Submitted on 20 Feb 2025

**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.

## **SORBONNE UNIVERSITÉ**

École doctorale **Concepts et langages**

Unité de recherche **Institut de recherche en Musicologie (UMR 8223)**

Thèse présentée par **David Andres MUNIVE BENITES**

Soutenue le **5 décembre 2024**

En vue de l'obtention du grade de docteur de Sorbonne Université

Discipline **Musique et Musicologie**

Spécialité **Informatique pour les sciences humaines et sociales**

# **Les outils numériques pour l'optimisation des apprentissages auditifs et musicaux**

**Thèse dirigée par** Philippe LALITTE directeur  
Victoria EYHARABIDE co-directrice

### **Composition du jury**

<i>Rapporteurs</i>	Pascal TERRIEN Pierre COUPRIE	Professeur à l'Université d'Aix-Marseille Professeur à l'Université d'Évry Paris-Saclay
<i>Examineurs</i>	Nathalie ESTIENNE Claude MONTACIÉ	Maîtresse de conférences à l'Université Lyon 2 Professeur à Sorbonne Université
<i>Directeurs de thèse</i>	Philippe LALITTE Victoria EYHARABIDE	Professeur à Sorbonne Université Maîtresse de conférences à Sorbonne Université

## COLOPHON

Mémoire de thèse intitulé « Les outils numériques pour l'optimisation des apprentissages auditifs et musicaux », écrit par David Andres MUNIVE BENITES, achevé le 18 février 2025, composé au moyen du système de préparation de document  $\text{\LaTeX}$  et de la classe yathesis dédiée aux thèses préparées en France.

**SORBONNE UNIVERSITÉ**

École doctorale **Concepts et langages**

Unité de recherche **Institut de recherche en Musicologie (UMR 8223)**

Thèse présentée par **David Andres MUNIVE BENITES**

Soutenue le **5 décembre 2024**

En vue de l'obtention du grade de docteur de Sorbonne Université

Discipline **Musique et Musicologie**

Spécialité **Informatique pour les sciences humaines et sociales**

**Les outils numériques pour  
l'optimisation des apprentissages  
auditifs et musicaux**

**Thèse dirigée par** Philippe LALITTE directeur  
Victoria EYHARABIDE co-directrice

**Composition du jury**

<i>Rapporteurs</i>	Pascal TERRIEN Pierre COUPRIE	Professeur à l'Université d'Aix-Marseille Professeur à l'Université d'Évry Paris-Saclay
<i>Examineurs</i>	Nathalie ESTIENNE Claude MONTACIÉ	Maîtresse de conférences à l'Université Lyon 2 Professeur à Sorbonne Université
<i>Directeurs de thèse</i>	Philippe LALITTE Victoria EYHARABIDE	Professeur à Sorbonne Université Maîtresse de conférences à Sorbonne Université



# **SORBONNE UNIVERSITÉ**

Doctoral School **Concepts et langages**

University Department **Institut de recherche en Musicologie (UMR 8223)**

Thesis defended by **David Andres MUNIVE BENITES**

Defended on **December 5, 2024**

In order to become Doctor from Sorbonne Université

Academic Field **Music and Musicology**

Speciality **Computing for the humanities and social sciences**

## **Digital tools for the optimization of musical aural education**

**Thesis supervised by** Philippe LALITTE      Supervisor  
Victoria EYHARABIDE      Co-Supervisor

### **Committee members**

<i>Referees</i>	Pascal TERRIEN	Professeur à l'Université d'Aix-Marseille
	Pierre COUPRIE	Professeur à l'Université d'Évry Paris-Saclay
<i>Examiners</i>	Nathalie ESTIENNE	Maîtresse de conférences à l'Université Lyon 2
	Claude MONTACIÉ	Professeur à Sorbonne Université
<i>Supervisors</i>	Philippe LALITTE	Professeur à Sorbonne Université
	Victoria EYHARABIDE	Maîtresse de conférences à Sorbonne Université



Le Sorbonne Université n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses : ces opinions devront être considérées comme propres à leurs auteurs.





**Mots clés :** formation auditive, éducation musicale, environnement d'apprentissage virtuel enseignement assisté par ordinateur, neuropédagogie, apprentissage musical universitaire

**Keywords:** ear training, aural education, virtual learning environment (vle), computer assisted instruction (cai), neuropedagogy, higher music learning



Cette thèse a été préparée au

**Institut de recherche en Musicologie (UMR  
8223)**

Sorbonne Université  
BnF site Tolbiac  
Quai François Mauriac  
75005 Paris  
France

☎ +33(0) 1 53 79 37 10

Site <https://www.iremus.cnrs.fr/>





*À mes directeurs de recherche qui ont guidé mes pas vers cette aventure académique.*

*Toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail. Chaque entretien, discussion, lecture, mot d'encouragement et suggestion a été d'une importance capitale et a permis de mener à bien ce projet.*

*Je dédie également ce travail  
à tous ceux qui le liront  
et qui continueront à faire  
avancer la recherche dans ce domaine.  
Ce n'est qu'un début.*



No. Try not. Do... or do not. There  
is no try.

---

Yoda - *Star Wars*





---

**LES OUTILS NUMÉRIQUES POUR L'OPTIMISATION DES APPRENTISSAGES AUDITIFS ET MUSICAUX****Résumé**

Cette thèse propose une revue de l'état de l'art des applications pédagogiques pour la formation auditive dans l'enseignement supérieur et explore des stratégies d'optimisation potentielles pour ces applications. Nous avons effectué une analyse de la manière dont ces applications sont utilisées du point de vue des étudiants, des enseignants et des développeurs. L'objectif est d'identifier des stratégies pour optimiser le développement et l'utilisation de ces applications dans les programmes éducatifs. En particulier, nous avons étudié l'interaction entre la formation auditive, la technologie d'apprentissage, la cognition musicale et les théories de l'apprentissage. Notre recherche vise à combler l'écart entre les exigences pédagogiques de l'entraînement auditif et les avancées technologiques en menant une analyse multidisciplinaire. Nous traitons en premier lieu l'évolution historique de l'enseignement des compétences auditives, en commençant par retracer ses racines dans le solfège, en passant par la notation et la théorie musicales et en terminant par sa forme spécialisée actuelle en France. Les théories de l'apprentissage liées au développement des compétences auditives, à la cognition musicale et à l'apprentissage en ligne ont également été examinées. Après cette revue approfondie de la littérature, nous définissons des lignes directrices pour la conception d'applications pédagogiques pour la formation auditive. Nous complétons notre proposition par des exemples d'exercices qui utilisent ces lignes directrices pour améliorer les apprentissages. Enfin, nous présentons les résultats de notre approche expérimentale afin d'évaluer la pertinence de nos idées en tant qu'alternative innovante aux méthodes d'enseignement traditionnelles, en offrant de nouvelles perspectives sur la manière dont la technologie peut améliorer le processus d'apprentissage auditif. Plusieurs facteurs doivent cependant être pris en compte pour parvenir à optimiser ces applications : l'inclusion des théories d'apprentissage basées sur les neurosciences, la prise en compte des besoins spécifiques des enseignants et des étudiants et la mise en œuvre d'une approche pédagogique qui reflète la complexité du traitement auditif.

**Mots clés :** formation auditive, éducation musicale, environnement d'apprentissage virtuel enseignement assisté par ordinateur, neuropédagogie, apprentissage musical universitaire

---

**Institut de recherche en Musicologie (UMR 8223)**

Sorbonne Université – BnF site Tolbiac – Quai François Mauriac – 75005  
Paris – France

---

**DIGITAL TOOLS FOR THE OPTIMIZATION OF MUSICAL AURAL EDUCATION****Abstract**

This thesis presents a review of the current state of learning applications for higher aural education and potential optimization strategies. An analysis of how these applications are used is conducted from the point of view of students, teachers, and developers. The goal is to identify ways to optimize the development and use of these applications in educational programs. In particular, we study the interaction between aural education, learning technology, music cognition, and learning theories. The research aims to bridge the gap between the educational requirements of aural training and technological advancements by conducting a multi-perspective analysis. The historical evolution of aural skills education was studied, starting from tracing its roots in "solfège", passing by its connection to music notation and theory, and finishing with its current specialized form in France. Learning theories related to auditory skills development, music cognition, and e-learning were also reviewed. After a deep review of the literature in the field, we define possible guidelines for designing aural learning applications for aural education. In addition, the thesis proposes sample exercises that utilize these guidelines for supporting learning. We conducted an experimental approach to evaluate our ideas as a novel alternative to traditional teaching methods, providing new perspectives on how technology can improve the aural learning process. However, several factors must be considered to achieve such optimization: include learning theories based on neuroscience, consider the specific requirements of teachers and students, and implement a pedagogical approach that reflects the complexity of auditory processing. Finally, we want to emphasize that instructors, students, developers, and institutions must engage in robust dialogue to create a more inclusive educational environment using digital applications.

**Keywords:** ear training, aural education, virtual learning environment (vle), computer assisted instruction (cai), neuropedagogy, higher music learning

---

# Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Philippe Lalitte, mon directeur de recherche, pour ses conseils et son soutien tout au long de ma formation en recherche en musicologie. Philippe m'a ouvert les portes de ce domaine en m'accueillant dans le programme de master de l'Université de Bourgogne. Par la suite, il m'a informé du projet NOAM et du projet de thèse ici à Sorbonne Université, qui ont complété mon parcours académique. C'est en grande partie grâce à son mentorat que j'ai pu explorer le milieu de la recherche en France. Je lui suis également profondément reconnaissant de m'avoir initié, directement ou indirectement, au domaine de la psychologie musicale et des sciences cognitives appliquées à la musique. Ces disciplines ont profondément influencé la manière dont je comprends et interagis avec le processus musical, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur du domaine de la recherche.

Merci également à Victoria Eyharabide, mon autre directrice de recherche. Ses conseils et son soutien sont devenus très importants depuis que nous nous sommes rencontrés lors de ma « mini-soutenance » à la fin de ma deuxième année de doctorat. Son expérience en informatique et outils numériques appliqués à l'éducation, ainsi que son approche systématique de la recherche académique, m'ont guidé vers une méthodologie de recherche structurée et efficace. Son soutien et son conseil ont contribué à améliorer la qualité de ce projet de recherche, le rendant plus facilement accessible et précieux pour des personnes en dehors de la musicologie. La contribution de Victoria à ce projet multidisciplinaire m'a permis de mener une réflexion d'un point de vue complémentaire à celui de la musicologie et ainsi d'élargir les aspects analysés dans cette thèse.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude aux membres du jury — Pascal Terrien, Pierre Couprie, Nathalie Estienne et Claude Montacié — pour leur temps, leur expertise et leurs retours précieux sur ma thèse. Vos questions et observations ont été très importantes pour explorer différents points de vue et affiner mes arguments. C'était vraiment un honneur de pouvoir présenter mes travaux à des chercheurs aussi éminents.

Je voudrais également remercier l'IREMUS, en particulier sa directrice Théodora Psychoyou et sa gestionnaire Marianne Coutures. Grâce à votre soutien, j'ai

pu bénéficier d'un espace de travail alors que je n'avais pas d'autres options. Avec votre aide, j'ai pu participer à des conférences, des séminaires et des congrès, où j'ai eu l'occasion de partager les résultats et réflexions liés à mes recherches. Même sans contrat doctoral, l'atmosphère accueillante du laboratoire et la solidarité entre les membres ont largement contribué à la belle expérience de recherche que j'ai vécue durant mon doctorat. Je tiens également à remercier le Bureau des Jeunes Chercheurs de l'IReMus ainsi que les doctorants que j'ai rencontrés grâce à lui. En échangeant avec d'autres doctorants en musicologie, j'ai pu élargir ma compréhension des divers parcours de recherche et des possibilités de carrière dans ce domaine.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à l'École Doctorale 433 "Concepts et Langages" ainsi qu'à Sorbonne Université dans son ensemble pour leur soutien précieux et pour l'opportunité inestimable d'avoir pu réaliser mon doctorat dans une institution aussi prestigieuse. Je suis particulièrement reconnaissant pour l'aide reçue pendant les périodes de confinement et de couvre-feu, qui a été essentielle à la finalisation de ce projet de recherche. Le soutien du Collegium Musicae a également joué un rôle crucial en ouvrant de nouvelles perspectives pour l'application de cette recherche. Grâce aux échanges avec d'autres doctorants issus de divers domaines, j'ai pu élargir ma compréhension de mon propre sujet.

Je tiens aussi à remercier l'UFR de Musique et Musicologie de Sorbonne Université. Leur appui a rendu possible la réalisation de l'enquête à grande échelle. J'aimerais également exprimer ma reconnaissance envers tous les enseignants de l'UFR avec qui j'ai eu l'occasion d'échanger, notamment ceux impliqués dans le projet NOAM ainsi que ceux que j'ai pu interviewer. Leur expertise et leurs connaissances m'ont beaucoup aidé à saisir les enjeux et les implications liés à mon sujet de recherche.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude aux professeurs de formation musicale des conservatoires avec qui j'ai eu l'occasion d'échanger, que ce soit à leur initiative ou à la mienne, autour du sujet de cette thèse. Je remercie également les conseillères pédagogiques et les développeurs qui ont partagé leur expérience avec moi. L'objectif de cette recherche est de combler les lacunes et de relier les différents éléments pour mieux comprendre les efforts significatifs de tous ceux qui œuvrent dans ce domaine.

Je souhaite aussi remercier les personnes que j'ai eu la chance de rencontrer à Paris et qui font partie de mon quotidien. Faire un doctorat sans contrat doctoral n'est pas facile, et j'ai dû trouver différentes façons de me soutenir tout au long de cette aventure. J'ai eu la chance de trouver un logement abordable et confortable à la Cité Internationale Universitaire de Paris, où je me suis senti chez moi malgré les restrictions liées à la COVID et un budget limité. Je suis également

très reconnaissant d'avoir obtenu un poste au Centre de Ressources en Langues de l'Université Paris-Cité. Je tiens à remercier sa responsable administratif, Moulkheir Brahimi, ainsi que mes nombreux collègues (souvent étudiants et chercheurs eux aussi) avec qui j'ai eu le plaisir de collaborer. Ce poste m'a non seulement permis de subvenir à mes besoins, mais il m'a également donné l'opportunité de découvrir l'administration universitaire, d'organiser des ateliers et de mieux comprendre la vie quotidienne des enseignants.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à ma famille, qui m'a soutenu à chaque étape de ce parcours, malgré les plus de neuf mille kilomètres qui nous séparent. Depuis mon retour de master en Angleterre, quand je leur ai annoncé que je voulais apprendre le français et me lancer dans la recherche en musicologie, ils ont toujours été là pour moi. Même s'ils ne sont pas forcément experts en musique (ou encore moins en musicologie), leur amour et leur soutien inconditionnels ont été essentiels pour m'aider à atteindre cet objectif. Je souhaite également remercier mes nombreux amis, professeurs et connaissances, en Équateur et ailleurs dans le monde. Leur soutien et leurs encouragements, malgré la distance et les décalages horaires, m'ont beaucoup aidé.

Enfin, ce doctorat m'a donné l'opportunité de poursuivre mon chemin musical en France, de rencontrer et collaborer avec des musiciens talentueux, et de tisser des liens avec des personnes que je considère aujourd'hui comme des amis proches. Je n'aurais pas pu mener cette thèse à terme sans le soutien précieux de ma chère Claire (que j'ai rencontrée au beau milieu de cette aventure doctorale), de sa famille, ainsi que des communautés équatoriennes à Paris, qui m'ont fait sentir chez moi.

Cette liste est loin d'être exhaustive. De nombreuses personnes et organisations ont contribué à l'achèvement de ce travail, et je tiens à leur exprimer toute ma reconnaissance. Enfin, je remercie également ceux qui prendront le temps de lire cette thèse, ainsi que les chercheurs dont les travaux ont nourri mes réflexions. J'espère que cette thèse pourra en inspirer d'autres à poursuivre leur propre chemin vers la découverte.



# Avant-propos

Les outils d'apprentissage numérique sont un domaine de recherche constante et exponentielle. Une recherche rapide sur le sujet sur Google Scholar montre clairement l'intérêt croissant pour le sujet. Le développement continu et la démocratisation des technologies numériques invitent les chercheurs et le grand public à repenser la manière dont ces outils peuvent être utilisés pour résoudre les problèmes actuels tout en offrant de nouvelles opportunités.

Les aspects les plus intéressants de cette recherche sont la possibilité d'analyser un problème d'éducation musicale dans une perspective multidisciplinaire. L'entraînement de l'oreille musicale a la particularité d'avoir été utilisé comme un sujet à travers lequel les processus cognitifs sont étudiés dans diverses expériences de psychologie. Le phénomène de l'oreille absolue a motivé les chercheurs à étudier les conditions qui permettent le développement de cette capacité chez les individus. L'étude de la psychologie musicale, étroitement liée aux recherches sociologiques et anthropologiques plus larges sur la musique et l'art, a également ouvert les portes à l'analyse de la perception et du traitement mental de la musique. Dans toutes ces disciplines, les scientifiques ont tenté d'expliquer la fascination humaine pour la répétition, l'anticipation et la surprise des sons.

L'avènement des technologies numériques a considérablement élargi la gamme des outils d'apprentissage disponibles, répondant aux besoins des individus en quête de parcours d'apprentissage personnalisés. Ces outils tirent parti des avancées technologiques. Bien que des domaines spécialisés du développement informatique en support pédagogique existent, l'examen d'un sujet aussi vaste que l'optimisation de l'entraînement de l'oreille par le biais d'outils numériques révèle la complexité intrinsèque des avancées dans ce domaine.

Cette recherche met en évidence le besoin de spécialistes dans le développement d'outils numériques de formation auditive. Ces spécialistes doivent travailler en étroite collaboration avec les enseignants et les étudiants pour aligner le développement d'outils sur les objectifs et l'environnement d'apprentissage. S'il est vrai que l'utilisation des smartphones et des technologies numériques peut nuire au développement cognitif des jeunes adultes et avoir un impact négatif sur les fonctions exécutives, nous plaçons pour la création de lignes



directrices et d'une culture qui promeut une utilisation saine de la technologie au lieu d'une « interdiction ou d'un déni complet » de ses avantages potentiels. Les smartphones et autres appareils numériques sont déjà présents en permanence dans nos vies, et leur intégration dans la vie quotidienne va continuer de s'accroître au fil du temps. Au-delà des préjugés et des idées reçues sur la technologie, il faut imaginer les conditions dans lesquelles elle peut contribuer au développement humain de manière saine et durable.

# Sommaire

<b>Résumé</b>	<b>xvii</b>
<b>Remerciements</b>	<b>xix</b>
<b>Avant-propos</b>	<b>xxiii</b>
<b>Sommaire</b>	<b>xxv</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>xxxii</b>
<b>Table des figures</b>	<b>xxxiii</b>
<b>Introduction</b>	<b>xxxv</b>
<b>1 Apprentissage auditif dans l'enseignement musical</b>	<b>1</b>
1.1 Apprentissage auditif dans l'histoire de l'enseignement de la musique . . . . .	1
1.1.1 Guido d'Arezzo . . . . .	2
1.1.2 Le développement du solfège moderne . . . . .	3
1.1.3 Le développement de l'enseignement de la musique et du solfège en France . . . . .	4
1.1.4 Les apprentissages auditifs : le solfège et la dictée musicale	5
1.2 Apprentissage auditif dans les méthodes actives . . . . .	7
1.2.1 Méthode d'Émile Jaques-Dalcroze . . . . .	8
1.2.2 Méthode de Zoltán Kodály . . . . .	11
1.2.3 Méthode de Maurice Martenot . . . . .	13
1.2.4 Méthode de Carl Orff . . . . .	15
1.2.5 Méthode d'Edgar Willems . . . . .	18
1.2.6 Méthode de Shinichi Suzuki . . . . .	21
1.2.7 Méthode de Raymond Murray Schafer . . . . .	23
1.2.8 Influence des méthodes actives . . . . .	26
1.3 Formation auditive et musicale actuelle dans le monde . . . . .	28

1.3.1	La valeur de la formation auditive . . . . .	30
1.3.2	Problèmes et suggestions pédagogiques dans la littérature scientifique . . . . .	31
1.3.3	La problématique de la formation auditive . . . . .	36
1.3.4	Suggestions d'amélioration de la formation auditive dans la littérature . . . . .	37
1.4	Apprentissage auditif en France . . . . .	38
1.4.1	Apprentissage auditif en conservatoire . . . . .	38
	Du solfège vers la formation musicale . . . . .	39
	Entretiens d'enseignants au conservatoire . . . . .	41
1.4.2	Apprentissage auditif à l'université . . . . .	47
	Sorbonne Université . . . . .	48
	Entretiens d'enseignants d'université . . . . .	49
1.4.3	Enquête auprès d'étudiants de Sorbonne Université . . . . .	59
	Questionnaires 2021 et 2023 . . . . .	60
	Population . . . . .	61
	Les résultats par rapport à l'apprentissage auditif . . . . .	61
	Résultats dans d'autres universités françaises . . . . .	63
	Analyse et discussion . . . . .	64
	Conclusion . . . . .	65
1.5	Récapitulatif . . . . .	65
<b>2</b>	<b>Usage du numérique pour l'apprentissage auditif</b>	<b>69</b>
2.1	Enseignement à l'ère du numérique . . . . .	69
2.1.1	L'éducation 4.0 . . . . .	70
2.1.2	Les outils pour l'éducation 4.0 . . . . .	73
	Les outils indispensables . . . . .	73
	Les outils nécessaires . . . . .	75
	Les outils agréables à posséder . . . . .	77
	D'autres outils pour l'éducation dans l'avenir . . . . .	79
2.1.3	Les effets négatifs du numérique dans l'enseignement . . . . .	83
2.2	Numérique dans l'enseignement de la musique . . . . .	86
2.2.1	Possibilités d'optimisation d'apprentissage . . . . .	88
2.2.2	Enseignement programmé . . . . .	90
2.2.3	Enseignement de la musique programmé et assisté par ordinateur en France . . . . .	92
2.2.4	Enseignement de musique assisté par ordinateur . . . . .	95
2.2.5	Outils numériques pour l'apprentissage musical . . . . .	100
2.2.6	Liste d'outils numériques d'apprentissage auditif disponibles en 2024 . . . . .	103
2.3	Évolution du numérique dans l'apprentissage auditif . . . . .	103

2.3.1	Data gathering . . . . .	106
2.3.2	Résultats . . . . .	108
	L'évolution de la recherche sur les logiciels d'apprentissage auditif . . . . .	109
	Évaluation des outils d'apprentissage . . . . .	112
	Approche pédagogique . . . . .	115
	Contenu . . . . .	122
	Public visé . . . . .	124
	Implémentation . . . . .	125
	Limitations des études . . . . .	127
2.3.3	Discussion . . . . .	128
2.3.4	Limitations de cette revue . . . . .	130
2.4	Applications du numérique dans l'apprentissage auditif en France	131
2.4.1	Point de vue des professeurs de conservatoire . . . . .	131
	L'utilisation du numérique dans l'enseignement . . . . .	132
	Idées pour la création d'un outil numérique . . . . .	135
2.4.2	Point de vue des enseignants à l'université . . . . .	138
	Utilisation actuelle du numérique . . . . .	139
	Idées pour l'utilisation d'un outil numérique . . . . .	141
	L'utilisation d'outils numériques d'apprentissage dans les cours . . . . .	144
	Les limites du numérique . . . . .	145
2.4.3	Point de vue des conseillers pédagogiques . . . . .	147
	Parcours des formatrices . . . . .	148
	Utilisation du numérique . . . . .	150
	Avis sur les outils numériques d'apprentissage . . . . .	152
	L'intégration du numérique dans l'enseignement musical . . . . .	155
	Avis sur la pédagogie dans les enseignements auditifs . . . . .	158
	Idées pour la création d'un outil pédagogique . . . . .	161
2.4.4	Point de vue des développeurs . . . . .	162
	Parcours des développeurs . . . . .	163
	Contexte de l'outil d'apprentissage . . . . .	164
	Intégration de l'outil d'apprentissage . . . . .	166
	L'approche pédagogique . . . . .	170
2.4.5	Point de vue des étudiants d'université . . . . .	176
	Présentation du questionnaire 2021 et 2023 . . . . .	176
	Résultats . . . . .	176
	Analyse et discussion . . . . .	184
2.5	Récapitulatif . . . . .	187

<b>3 Neuropédagogie dans l'apprentissage auditif</b>	<b>191</b>
3.1 Théories de l'apprentissage	192
3.1.1 Développement historique des théories de l'apprentissage	193
3.1.2 Principales théories de l'apprentissage	198
Le béhaviorisme	198
Le constructivisme	201
Le cognitivisme	208
La théorie sociale cognitive	212
Le connectivisme	217
L'andragogie	220
3.2 Les Piliers de l'apprentissage	225
3.2.1 L'attention	226
L'alerte	227
L'orientation	227
Le contrôle exécutif	228
Le rôle de l'entourage sur l'attention	230
3.2.2 L'attention et la musique	231
3.2.3 L'engagement actif	234
La curiosité	237
L'engagement actif, la curiosité et la musique	239
3.2.4 Le retour sur erreur	241
L'anticipation de l'erreur	243
Le retour sur erreur à l'école	244
Le rôle de l'état de sprit	245
La valeur et la fréquence du test	246
Le retour sur erreur en musique	247
3.2.5 La consolidation	250
Le sommeil et la mémoire	251
Le sommeil et la musique	254
3.2.6 Le numérique et l'apprentissage	255
3.3 Perception et cognition musicale	256
3.3.1 La perception auditive	256
3.3.2 Le système auditif	257
L'oreille externe	257
L'oreille moyenne	258
L'oreille interne	258
Le cortex auditif	259
3.3.3 Le groupement perceptif	260
3.3.4 Le rôle de la mémoire dans la perception musicale	262
La mémoire musicale dans la littérature scientifique	264

3.3.5 L'imagerie mentale . . . . .	268
3.4 Ergonomie cognitive . . . . .	270
3.4.1 Théorie de la charge cognitive . . . . .	272
Principes de la théorie . . . . .	272
Catégories de charge cognitive . . . . .	276
Théorie de l'apprentissage multimédia . . . . .	277
Principes de conception pédagogique tirés de la théorie de la charge cognitive . . . . .	279
3.4.2 Ergonomie du logiciel . . . . .	280
Interaction homme-machine . . . . .	281
Design de plateformes d'apprentissage . . . . .	284
Principes de conception . . . . .	287
3.5 Gamification et jeux sérieux . . . . .	290
3.5.1 Base théorique de la gamification . . . . .	291
3.6 Récapitulatif . . . . .	294
<b>4 Nouvelle proposition numérique</b> . . . . .	<b>299</b>
4.1 Lignes directrices pour une nouvelle proposition . . . . .	299
4.1.1 Une approche holistique aux apprentissages auditifs et musicaux . . . . .	300
Principes pédagogiques . . . . .	304
4.1.2 Principes de conception d'un outil numérique d'apprentissages auditifs et musicaux . . . . .	307
Principes dérivés de l'étude de l'apprentissage auditif dans la formation musicale . . . . .	309
Principes dérivés de l'étude de l'évolution et mise en oeuvre d'outils numériques pour l'apprentissage auditif . . . . .	312
Principes dérivés de l'étude de la neuropédagogie appliqué à l'apprentissage auditif . . . . .	315
4.2 Projet "Le Numérique pour l'Optimisation des Apprentissages Musicaux" (NOAM) . . . . .	317
4.2.1 Problématique . . . . .	317
4.2.2 Description du projet de recherche . . . . .	319
4.2.3 Modification des objectifs par rapport à la crise sanitaire . . . . .	320
4.3 Stage au Collegium Musicae . . . . .	322
4.3.1 Utilisation de la plateforme Moodle et H5P . . . . .	322
4.3.2 Logiciels utilisés pour le matériel . . . . .	325
4.3.3 Exemples d'exercices . . . . .	326
4.4 Élaboration d'exercices pour les apprentissages auditifs . . . . .	327
Les intervalles . . . . .	328
La mélodie et polyphonie . . . . .	329

---

Le vocabulaire harmonique . . . . .	331
La syntaxe harmonique . . . . .	331
Le rythme . . . . .	332
Le timbre, la texture, l'expression . . . . .	333
4.5 Récapitulatif . . . . .	335
<b>Conclusion</b>	<b>343</b>
Discussion et analyse des résultats . . . . .	343
Avantages et limitations de l'implémentation sur Moodle . . . . .	352
Perspectives de travaux futures . . . . .	354
<b>Bibliographie</b>	<b>359</b>
<b>Index</b>	<b>455</b>
<b>Table des matières</b>	<b>457</b>

# Liste des tableaux

1.1	Questionnaire 2021 apprentissage auditif . . . . .	60
1.2	Questionnaire 2023 apprentissage auditif . . . . .	62
1.3	Distribution de la population . . . . .	63
2.1	Liste d'applications classées par système d'exploitation et type d'accès. . . . .	104
2.2	Études comparant l'apprentissage d'un groupe contrôle à un groupe expérimental disposant de l'outil. . . . .	113
2.3	Études évaluant l'apprentissage d'un seul groupe disposant de l'outil. . . . .	114
2.4	Études avec d'autres types d'évaluation de l'outil numérique . . . . .	115
2.5	Études qui n'évaluent pas d'outils numériques . . . . .	116
2.6	Études en lien avec la gamification . . . . .	122
2.7	Questionnaire 2021 sur l'utilisation générale d'un outil d'apprentissage . . . . .	177
2.8	Questionnaire 2021 sur l'outil d'apprentissage . . . . .	178
2.9	Questionnaire 2023 sur l'utilisation générale d'un outil d'apprentissage . . . . .	179
2.10	Questionnaire 2023 sur l'outil d'apprentissage . . . . .	180
2.11	Applications le plus utilisées . . . . .	182





# Table des figures

2.1	Publications par rapport à l'année . . . . .	110
2.2	Publications par pays . . . . .	110
2.3	Contenu abordé par les outils numériques . . . . .	123
2.4	Outil utilisé comme complément ou comme remplacement de l'enseignant . . . . .	123
2.5	Public visé par l'outil . . . . .	125
2.6	Durée de l'étude . . . . .	126
2.7	Outil choisie pour l'étude . . . . .	127
2.8	Capture écran de Perfect Ear . . . . .	183
2.9	Capture écran de Complete Ear Trainer . . . . .	183
2.10	Capture écran de MyEarTrainer . . . . .	183
2.11	Capture écran de Ear Master . . . . .	184



# Introduction

Les outils numériques sont devenus indispensables à notre quotidien, qu'il s'agisse de tâches simples comme consulter l'heure ou la météo, ou d'applications complexes dans les domaines de l'ingénierie, de la santé, de la finance ou de la sécurité. L'intégration des technologies informatiques s'est rapidement étendue au cours des dernières décennies, imprégnant presque tous les aspects de la vie humaine. Les technologies numériques sont désormais au cœur du concept d'optimisation, qui cherche à « rendre optimal », donner à quelque chose les meilleures conditions d'utilisation et de fonctionnement (CNRTL), avant même l'adoption généralisée de l'intelligence artificielle ou de la réalité virtuelle.

Le numérique a bouleversé les conditions de formation et d'apprentissage. Nous sommes passés d'un cadre spatio-temporel unifié structurant les actes de formation à un univers éclaté qui offre la possibilité d'apprendre n'importe où et n'importe quand par le biais des sites et blogs internet, des plateformes vidéo, des chaînes d'éducation, des réseaux sociaux, etc. Le rapport à la connaissance centré sur une figure d'autorité (le professeur) et organisé selon un schéma linéaire et séquentiel s'est transformé en un rapport polycentrique où l'apprenant est confronté à des autorités multiples, dispersées et parfois concurrentes, voire contradictoires. Ce bouleversement est particulièrement visible dans le domaine de la musique, où les outils numériques offrent une infinité de possibilités de la simple recherche d'information en ligne à la création musicale assistée par ordinateur.

La pandémie de Covid-19 a mis en évidence les difficultés liées aux apprentissages auditifs en raison de l'isolement forcé des élèves et des étudiants. Ce contexte peu propice à la pratique musicale a souligné les problèmes rencontrés par nombreux apprenants et jeunes musiciens. Ces derniers, souvent issus de milieux où la pratique musicale est rare, n'ont plus eu accès aux ressources nécessaires pour pratiquer la musique collectivement et se former. Dans les circonstances normales, les étudiants doivent souvent jongler avec de multiples tâches (cours, travail instrumental ou vocal personnel, souvent travail pour financer ses études...) qui limitent le temps qu'ils peuvent consacrer à la formation auditive. Pour pallier ce manque de temps, certains d'entre eux se tournent alors

vers des applications de formation auditive en ligne. Ces vingt dernières années, les usages pédagogiques du numérique dans le domaine musical ont connu un essor important mais disparate. Alors que des outils comme les logiciels d'édition de partition, de production musicale ou d'analyse sont largement utilisés, la formation auditive et la culture musicale peinent à trouver leur place dans les pratiques numériques des enseignants. Une recherche rapide sur internet révèle une grande diversité d'applications d'*ear training* développées par des sociétés spécialisées, certaines gratuites, d'autres payantes. Si ces outils peuvent, au premier abord, être séduisants par leur interface et attractifs par leur facilité d'utilisation, sont-ils réellement efficaces en termes d'apprentissage ? Sont-ils fondées sur des concepts didactiques et des propositions pédagogiques solides ? Sont-ils adaptées à la formation auditive en conservatoire et à l'université ? Permettent-ils véritablement d'optimiser les apprentissages auditifs ?

Cette thèse vise d'une part à examiner les facteurs influençant l'offre actuelle de formation auditive, et d'autre part à explorer l'ensemble du paysage des applications numériques soutenant les apprentissages auditifs plutôt que de se concentrer sur une seule solution optimale. Postulant que l'intégration des outils numériques dans les systèmes éducatifs est un processus inévitable et en évolution rapide, déstabilisant potentiellement les pratiques pédagogiques traditionnelles, cette thèse s'intéresse aux acteurs clés et aux cadres théoriques récents. Elle cherche à déconstruire les principaux obstacles qui entravent l'intégration des technologies numériques en tant qu'outils pour soutenir la formation auditive et musicale dans l'enseignement formel. Cette thèse vise également à explorer les facteurs influençant l'offre actuelle d'applications de formation de l'oreille et à proposer des solutions d'amélioration fondées sur la littérature scientifique. Les connaissances en psychologie et cognition musicales, ainsi que celles acquises en pédagogie musicale et en méthodes d'e-learning peuvent considérablement bonifier les outils existants et orienter le développement de futurs logiciels. En définitive, cette thèse vise à créer un espace d'analyse des outils et de leurs applications, offrant des perspectives sur la manière dont ces outils peuvent évoluer pour répondre aux besoins des utilisateurs plutôt que de simplement explorer les possibilités technologiques.

D'un point de vue méthodologique, nous avons mené une revue de littérature couvrant la pédagogie musicale, les technologies éducatives et les sciences cognitives. Nous avons interviewé trois professeurs de conservatoire, quatre professeurs d'université, trois conseillers pédagogiques et quatre développeurs d'outils numériques pour l'apprentissage auditif. Pour comprendre l'utilisation et les besoins des apprenants en musicologie, nous avons réalisé deux sondages, en 2021 et 2023, auprès des étudiants de licence et de master en musicologie de Sorbonne Université. De plus, nous avons effectué une revue, la plus exhaustive

possible, de littérature sur les outils numériques de formation auditive, retraçant l'évolution de la technologie et de la recherche des années 1960 à nos jours. Enfin, nous avons développé un cadre de lignes directrices pour le développement d'outils numériques pour l'apprentissage auditif abordant l'application en classe, la technologie et les considérations pédagogiques actuelles. Pour acquérir des connaissances sur le processus de développement de ces outils, nous avons collaboré au projet de recherche « Le numérique pour l'optimisation des aptitudes musicales (NOAM), avec des enseignants universitaires de compétences auditives pour expérimenter des propositions d'exercices de formation auditive et musicale conçues sur la base de la littérature en psychologie et cognition musicale et implémentables dans le cadre du Moodle de l'université via le logiciel libre de création de contenus interactifs H5P.

Le premier chapitre, aborde les différentes approches de l'apprentissage auditif dans la formation musicale. Nous étudions l'évolution de l'enseignement musical en Occident, depuis les fondements établis par Guido d'Arezzo jusqu'à la formation musicale actuelle, en passant par l'enseignement du solfège. Nous nous sommes penchés sur les méthodes traditionnelles qui ont dominé l'enseignement musical depuis le XIXe siècle et qui ont fait l'objet de critiques en raison de leur caractère trop spécialisé et fragmenté. Par ailleurs, nous avons étudié les contributions de pédagogues novateurs qui ont souligné l'importance de l'environnement musical global sur la perception auditive. Nous présentons ainsi les méthodes actives conçues par des musiciens-pédagogues tels qu'Émile Jaques-Dalcroze, Carl Orff ou Zoltán Kodály, qui privilégient un apprentissage interactif et créatif. Enfin, nous nous sommes intéressés plus spécifiquement à la formation musicale actuelle en France et aux défis auxquels sont confrontés les enseignants. Pour ce faire, nous avons mené des entretiens avec des enseignants de formation musicale au conservatoire et à l'université, ainsi que deux enquêtes auprès d'étudiants en musicologie de Sorbonne Université afin de mieux cerner leurs difficultés et leurs besoins en matière de formation auditive.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude de l'intégration du numérique dans la formation auditive. Le XXIe siècle a assisté à l'émergence de l'éducation 4.0 caractérisée par une intégration croissante des technologies de l'information et de la communication (TIC) dans les processus d'enseignement-apprentissage. La pandémie de COVID-19 a accéléré cette transition, rendant l'apprentissage en ligne incontournable. Cependant, dans le domaine de l'enseignement musical, l'adoption des TIC demeure encore limitée. Bien que des applications telles qu'EarMaster et Auralia proposent des outils novateurs pour la formation auditive, leur intégration dans les pratiques pédagogiques reste marginale. La littérature scientifique révèle une utilisation croissante de ces outils depuis les années 1960, notamment dans le contexte de l'enseignement à distance. Ce

chapitre présente une synthèse des recherches portant sur l'évolution et l'utilisation du numérique dans l'apprentissage musical, avec un accent particulier sur le développement et l'implémentation de technologies dédiées à la formation auditive. Nous nous appuyons sur des entretiens menés auprès d'enseignants d'université et de conservatoire, de conseillers pédagogiques et de développeurs afin de mieux comprendre les défis et les enjeux liés à l'intégration du numérique dans les pratiques pédagogiques musicales. Par ailleurs, une enquête réalisée auprès d'étudiants en musicologie de Sorbonne Université a permis d'identifier leurs besoins et leurs usages actuels des outils numériques dans le cadre de leurs études.

Le troisième chapitre est dédié aux apports de la psychologie et de la neuropsychologie dans le domaine des apprentissages en général et auditifs en particulier. Nous avons effectué une revue des principales théories de l'apprentissage, telles que le béhaviorisme, le constructivisme et le cognitivisme, et nous avons examiné leur application dans le contexte de l'éducation musicale. Nous avons étudié en détail le rôle de l'attention, de l'engagement actif, du retour sur erreur et de la consolidation dans l'optimisation des processus d'apprentissage. De plus, nous nous sommes intéressés à la perception et à la cognition musicales afin de mieux comprendre comment le cerveau traite les informations auditives, et nous soulignons l'importance de la mémoire musicale et de l'imagerie mentale dans l'accomplissement de tâches musicales. Nous avons également pris en compte les concepts d'ergonomie cognitive et de gamification, deux approches récentes qui permettent d'optimiser l'interaction entre l'utilisateur et les outils numériques, tout en contribuant à rendre l'apprentissage musical plus attrayant et à en améliorer les résultats.

Le quatrième chapitre présente une nouvelle proposition d'outil numérique dédié à l'apprentissage auditif. Nous commençons par dresser un état des lieux des éléments fondamentaux constituant une formation holistique des compétences auditives en musique. Compte tenu de ces éléments, nous avons élaboré des lignes directrices pour l'optimisation d'outils numériques spécifiquement conçus pour les apprentissages auditifs et musicaux. Ces lignes directrices ont été établies en tenant compte des besoins actuels des cours en formation auditive, des avancées récentes en matière de développement numérique et des dernières connaissances en neuropsychologie musicale. Nous illustrons ces lignes directrices par le biais d'exercices types, puis présentons notre expérience de développement d'un outil numérique d'apprentissage en collaboration avec des enseignants universitaires. Cet outil, développé sur les plateformes Moodle et H5P, ainsi qu'à l'aide de logiciels de traitement audio, a été conçu pour répondre aux besoins spécifiques identifiés précédemment.

Cette thèse cherche à explorer de manière approfondie l'univers des appli-

cations numériques conçues pour soutenir l'apprentissage auditif et musical, sans se limiter à une seule solution idéale. La formation auditive est un domaine complexe, aux multiples facettes, qui fait constamment l'objet de recherches et de nouvelles approches. Par ailleurs, l'intégration des technologies numériques dans l'éducation est un processus inéluctable, en perpétuelle évolution, qui peut parfois bouleverser les pratiques pédagogiques traditionnelles. C'est pourquoi cette étude adopte une perspective globale, prenant en compte les principaux acteurs, les théories contemporaines et propose des recommandations pour guider le développement de solutions numériques plus pertinentes et efficaces.

L'objectif est d'inviter le lecteur à comprendre la diversité de ce domaine et à reconnaître que chaque solution doit être adaptée aux défis spécifiques auxquels elle répond. Étant donné que la technologie et les savoirs humains ne cessent d'évoluer, une approche flexible et adaptable est nécessaire. Ce travail ambitionne donc de fournir un cadre d'analyse des outils et de leurs usages, en mettant en avant des pistes sur la manière dont ces outils peuvent progresser pour mieux répondre aux besoins des utilisateurs, plutôt que de simplement se focaliser sur les avancées technologiques disponibles.





# Apprentissage auditif dans l'enseignement musical

Dans ce chapitre, nous explorons la place de l'apprentissage auditif dans l'histoire de l'enseignement de la musique. Nous examinons les critiques et suggestions formulées dans la littérature scientifique concernant la formation auditive et musicale, ainsi que les méthodes actives pour les apprentissages auditifs. En conclusion, nous analysons l'influence de ces facteurs sur l'apprentissage auditif dans le conservatoire et l'université en France.

## **1.1 Apprentissage auditif dans l'histoire de l'enseignement de la musique**

L'enseignement formel de la musique (spécialement dans les cultures issues d'Europe) prend en compte le développement d'une « oreille musicale » [405]. À partir de la création des premières méthodes modernes connues d'enseignement de la musique en occident (proposées par Guido d'Arezzo, Gioseffo Zarlino, Franchinus Gaffurius, C.P.E. Bach, et d'autres) la notion du développement des capacités auditives a été présente [405]. Les apprentissages auditifs ont été représentés le plus souvent dans l'enseignement de la musique comme la capacité à lire (et à chanter) la musique écrite et à décrire (reconnaître analytiquement) et

écrire la musique écouté (la dictée musicale). Dans l'enseignement de la musique contemporaine occidentale, l'évolution vers ce type d'exercices pour atteindre de tels objectifs a commencé avec les écrits pédagogiques de Guido d'Arezzo, qui ont inspiré une partie des programmes actuels des conservatoires [157].

Guido d'Arezzo trouva son inspiration dans les pratiques maintenant appelées « solmisation » [251]. Cela est une technique très utilisée dans la transmission des connaissances musicales à travers les cultures européennes et non-européennes. On peut définir la solmisation comme la conceptualisation d'intervalles mélodiques à travers l'utilisation de syllabes. Les syllabes utilisées sont musicalement arbitraires, mais leur emploi aide l'apprenant à comprendre les relations tonales. Ce principe a été une méthode utile pour la reconnaissance auditive et pour la transmission orale de la musique. Cet outil méthodologique a été développé de manière indépendante dans le monde entier, étant spécialement documentée en Asie et en Europe [494]. La caractéristique commune de la solmisation est qu'elle essaie de clarifier la structure de la musique et de rendre facile la mémorisation de la musique. Les premières méthodes pour l'apprentissage musical ont utilisé des systèmes plus ou moins complexes de solmisation.

### 1.1.1 Guido d'Arezzo

Avant Guido d'Arezzo il existait des techniques et des théories pour faciliter l'apprentissage de la musique (musique liturgique) pour les chanteurs [638]. Pourtant la littérature historique de l'enseignement de la musique suggère que jusqu'au XIe siècle, les cérémonies liturgiques et la musique étaient enseignées par imitation et répétition avec le but d'être mémorisées. Il est généralement admis que cette pédagogie a subi un changement avec le théoricien et moine italien Guido d'Arezzo. Il a créé vers 1026 sa propre méthode de solmisation, la notation de la portée et le système d'hexacordes qui a conduit à la création de théorie de la musique occidentale contemporaine. Les idées que d'Arezzo a utilisées provenaient de Boèce [47], Hucbald et des textes *Musica enchiriadis* et *Dialogus de musica* [550]. Il utilisa la gamme existante de notes, le système modal et les plaça en hexacorde (un accord de six notes conjointes). Il regroupa

les notes sur l'hymne latin *Ut queant laxis* (l'Hymne à saint Jean-Baptiste) afin que les syllabes indiquent la position de chaque note par rapport d'un intervalle. De cette manière les notes *Ut Ré Mi Fa Sol La* représentaient chacune un ton, et les notes *Mi - Fa* représentaient un demi-ton.

Le système de Guido d'Arezzo facilitait l'apprentissage des mélodies inconnues ainsi que la compréhension générale des structures musicales. La disposition des notes dans l'hexacorde permettait de comprendre la fonction de chaque note dans la structure mélodique plutôt que son hauteur absolue. Parallèlement à l'invention de l'hexacorde, d'Arezzo développa une notation de portée comme référence visuelle aux syllabes et aux hauteurs relatives correspondantes [157]. De plus, il est normalement attribué à Guido d'Arezzo ce qu'on appelle aujourd'hui la main guidonienne. Cela est un système mnémotechnique dans lequel chaque partie de la main représente une note spécifique dans le système d'hexacorde, qui s'étend sur près de trois octaves de *Ut* à *La* (du *Sol* en bas de la clé de *Fa* moderne au *Mi* en haut de la clé de *Sol*). Guido d'Arezzo était un partisan de la compréhension conceptuelle de la musique et voulait que ses élèves soient capables d'écrire la musique qu'ils écoutaient. Il est important de noter que le système d'Arezzo a été développé comme un guide pédagogique et non comme une base théorique pour la musique [550].

La méthode resta en usage après sa création (vers 1026) mais des modifications furent apportées pour s'adapter aux changements pédagogiques et musicaux. Franchino Gaffurius affirma en 1496 que la méthode était essentielle pour l'enseignement des chœurs [79]. Après le XVI<sup>e</sup> siècle, la complexité musicale et le chromatisme de la musique polyphonique apportèrent des modifications à la méthode. L'hexacorde se développa, bien qu'il devienne obsolète. Les syllabes furent développées pour accueillir une octave, et elles inclurent tous leurs demi-tons. Au lieu de la syllabe *Ut*, le nouveau système utilisa *Do* et la syllabe *Si* fut incluse pour la septième note [2].

### 1.1.2 Le développement du solfège moderne

La théorie musicale, toujours en lien avec l'apprentissage du chant, s'est concentrée principalement sur des aspects philosophiques au Moyen Âge, mais

elle retrouve son côté pratique à la Renaissance et la Réforme [821]. Au XVII<sup>e</sup> siècle, le « solfège » ou *solfeggio* décrivait déjà des exercices vocaux sans texte créés par des professeurs de chant. En parallèle, les syllabes sol-fa ont commencé à être adoptées en Europe pour l'enseignement de la musique dans des contextes académiques et non académiques (les chorales d'églises) [2]. L'enseignement de la musique s'est développé différemment selon les contextes religieux et politiques. Cependant, l'éducation musicale dans le monde occidental était axée généralement sur l'enseignement du chant à vue et l'apprentissage par cœur [416]. La connaissance théorique était une méthode didactique pour la compréhension musicale. À partir des années 1700, des différentes méthodes furent développées autour du monde. Quelques exemples sont les méthodes développées en Allemagne (*Gesangbildungslehre* de Pfeiffer & Nageli en 1810) [319], en France (Exposition d'une nouvelle méthode pour l'enseignement de la musique de Galin en 1818) [273], en Hongrie (la Méthode Kodály) [207], aux Etats-Unis (*Manual of the Boston Academy of Music* de Mason en 1834) [521], en Angleterre (*Scheme for Rendering Psalmody Congregational* de Glover en 1835) [297].

### 1.1.3 Le développement de l'enseignement de la musique et du solfège en France

En France on peut tracer l'évolution de la pédagogie musicale moderne à partir du psautier solmisé de Pierre Davantès en 1555, et la méthode de notation de la musique chiffrée de Jean-Jacques Souhaitty publiée en 1677 [760]. En 1742, Jean-Jacques Rousseau reprend la méthode de Souhaitty et la modifie avec le but de simplifier la notation musicale car sa complexité et sa largeur la rendent difficile à l'apprentissage. Avec le même objectif, Pierre Galin invente une nouvelle version à partir de celle proposée par Rousseau et la publie dans le livre « Exposition d'une nouvelle méthode pour l'enseignement de la musique » publié en 1818. Cette méthode est reprise pour sa modification par Nanine Paris, Aimé Paris et Émile Chevé et devient la méthode Galin-Paris-Chevé [109]. Cette méthode utilise des chiffres (1 à 7) pour représenter les sept notes (Do à si). La simplification avait le but de faciliter l'accès de la classe populaire (qui à cette

époque était majoritairement analphabète) à la musique. Malgré le fait qu'elle soit plutôt inconnue des musiciens français, la méthode Galin-Paris-Chevé est à la base du système *jianpu*, encore utilisé en Chine et Japon [242].

Dans l'enseignement formel de la musique le « Manuel musical » et la méthode de M. B. Wilhem devient largement utilisé à Paris et en France [471]. Wilhem était le directeur-inspecteur-général de l'enseignement du chant dans les écoles primaires de la ville de Paris. La méthode est découverte par John Hullah en 1839 [98]. Hullah était le membre délégué du conseil d'éducation de la Grande-Bretagne. Il la traduisit vers l'anglais et l'adaptation de la méthode de Wilhem devint le texte officiel pour l'enseignement de musique et pour l'entraînement des professeurs. La méthode Wilhem utilise des syllabes sol-fa fixes, présente les intervalles progressivement avec des compositions pédagogiques, et traite les notions de rythme séparément. L'adaptation de Hullah utilisait les syllabes *Sol-Fa* mobiles.

#### 1.1.4 Les apprentissages auditifs : le solfège et la dictée musicale

Guido d'Arezzo voulait que ses élèves soient capables de transcrire de la musique non écrite et de chanter des sons inouïs (par lecture). Il est supposé qu'il existait des pratiques comme la dictée musicale pour l'apprentissage de la musique avant les années 1800. Cependant, c'est au XIXe siècle, lorsque l'enseignement musical devient plus formel et standardisé, que les premiers exercices de dictée musicale apparurent avec le but d'améliorer la pédagogie du solfège et de la lecture à vue [836]. Des textes d'enseignement de la musique, par exemple *Gesangbildungslehre* en Allemagne par Pfeiffer et Nægely en 1810 [794], Manuel Musical en France en 1836 par Wihlem [85] ou le *Manual of the Boston Academy of Music* de Mason en 1834 proposaient déjà des exercices de dictée pour les intervalles et les mélodies [232]. Le but de ces exercices était de reproduire les sons soit en chantant, soit en les écrivant en notation figurative, soit en utilisant des syllabes sol-fa ou bien une combinaison des trois. À cette époque, la dictée était considérée comme un moyen d'améliorer le solfège [836].

Cependant, il faudra attendre la création des conservatoires et de l'ensei-

gnement musical supérieur spécialisé pour que la dictée soit reconnue comme une compétence tout aussi utile que le solfège. Ce n'est qu'à la création du Conservatoire de Paris en 1795 que l'enseignement de la musique devient plus systématique [359]. Cela conduisit de nombreux pays à commencer à développer leurs propres conservatoires et écoles supérieures de musique. C'est également au Conservatoire de Paris qu'un premier cours de théorie et de pratique de la dictée musicale a été publié en 1882. Les « Principes élémentaires », première publication du Conservatoire en 1799, se présentaient comme un outil fondamental pour l'apprenti musicien, avec leur contenu théorique et leurs solfèges progressifs. Inspirés des modèles italiens du XVIIIe siècle, ces solfèges adoptent des approches pédagogiques qui montraient avec progression et rigueur les éléments musicaux. Ils deviennent ainsi un élément essentiel de l'enseignement au Conservatoire, préalable à toute autre forme d'apprentissage musical [12]. L'exemple de Paris a servi de base à l'inclusion de programmes similaires dans d'autres académies supérieures de musique. Aux États-Unis, en 1905, l'*Institute of Musical Art in New York* (la *Julliard School* d'aujourd'hui) avait déjà inclus une formation auditive à partir de sa création [594].

La capacité d'entendre et de comprendre mentalement la musique (appelé aujourd'hui l'imagerie mentale musicale), l'analyse des sons musicaux à travers la pensée musicale a été l'essence même de l'éducation musicale (surtout à partir du XIXe siècle). Cependant, dans l'enseignement moderne de la musique, cet objectif est devenu explicite avec l'idée du développement de l'oreille ou de l'écoute, les termes d'*ear training*, d'entraînement auditif ou de la formation auditive [380].

De façon générale, les méthodes d'enseignement étaient principalement basées sur les idées de Johann Heinrich Pestalozzi de rendre plus accessible la connaissance [504]. Certaines méthodes (Glover, Curwen et Kodály) incluaient l'utilisation des mains, tandis que d'autres se concentraient sur l'apprentissage des sons avant d'apprendre leur représentation écrite. Les développements pédagogiques ont été empruntés entre les pays (notamment européens), et les modèles européens ont eu une influence dans la plupart des pays du monde. Les raisons de l'enseignement de la musique ont toujours été extra-musicales : promouvoir les valeurs religieuses, morales, culturelles ou améliorer les per-

formances académiques [638]. Cependant, les méthodes développées portaient l'idée de démocratiser la compréhension des structures musicales.

Depuis sa création, le Conservatoire de Paris a traditionnellement défini le solfège et puis la formation musicale comme un ensemble de compétences incluant le chant à vue, la dictée musicale et l'analyse auditive. Selon Karpinski [405], les apprentissages auditifs permet de développer la capacité à 'penser en musique'. Initialement focalisée sur l'harmonie, la mélodie et le rythme, considérés comme les éléments fondamentaux de la musique [546], cette pédagogie s'est progressivement enrichie à la fin du XXe siècle. L'imagerie auditive (notion liée à ce que l'on nomme en France l'audition intérieure), l'apprentissage par l'écoute, l'improvisation et l'étude de paramètres plus complexes comme la dynamique, le timbre, le registre et la texture ont acquis une importance croissante, comme le souligne Wright [850].

## 1.2 Apprentissage auditif dans les méthodes actives

L'origine des méthodes actives d'enseignement de la musique remonte principalement à l'entre-deux-guerres, bien que des idées précurseurs aient été explorées auparavant. Plusieurs facteurs ont contribué à leur émergence. Tout d'abord, le contexte historique et socio-économique d'après la Première Guerre mondiale a engendré un besoin de reconstruction et d'innovation dans le domaine pédagogique, mettant l'accent sur l'importance de l'activité et de la participation dans l'apprentissage, selon les recherches scientifiques et pédagogiques de l'époque. Ensuite, l'influence des pédagogies nouvelles, développées par des figures telles que Maria Montessori [555] et Célestin Freinet [268], qui prônaient des approches éducatives basées sur l'autonomie et l'expérimentation, a inspiré les créateurs des méthodes actives d'enseignement de la musique. Enfin, les travaux de pédagogues de la musique tels qu'Émile Jaques-Dalcroze, Zoltán Kodály, Maurice Martenot, Carl Orff et Edgar Willems, qui ont élaboré des méthodes d'apprentissage basées sur la rythmique, la mélodie, le chant, le mouvement et la création musicale, ont également été déterminants. Ces méthodes ont en commun plusieurs aspects : la participation active des élèves, l'approche ludique utilisant le jeu comme moyen d'apprentissage stimulant, le développement de la



créativité et l'apprentissage par l'expérience.

Selon Willems les méthodes actives ont le principe de faire que l'élève réagit aux stimuli après une réflexion pour créer des réactions naturelles [838]. Le professeur devient un médiateur qui assure l'exposition au matériel d'apprentissage et qui sert de médiateur à la découverte de l'élève. Il est d'intérêt de noter que ces méthodes ont été développées dans un moment où la société européenne adoptait un système éducatif plus collectif et démocratique. L'éducation était orientée vers le collectif et les écoles de musique et les conservatoires n'étaient plus conçues exclusivement pour les élèves doués.

Le nombre de théoriciens, pédagogues et philosophes qui ont créé et inspiré des méthodes actives pour l'apprentissage de la musique est long et traverse plusieurs époques. Dans cette section, nous allons explorer des approches célèbres des « méthodes actives ». Cependant, cette exploration ne vise pas à être exhaustive, mais à donner une perspective sur les différentes approches qui ont existé dans différents pays et à différentes époques. Ces méthodes ont contribué à modifier les institutions traditionnelles de l'enseignement de la musique et à questionner les pratiques de ces enseignants.

### 1.2.1 Méthode d'Émile Jaques-Dalcroze

Au début du XXe siècle Émile Jaques-Dalcroze (1865 - 1950) a progressivement développé une méthode d'éducation musicale basée sur le mouvement et l'écoute active. La contribution de Jaques-Dalcroze réside dans son intérêt pour rendre l'enseignement moins abstrait et littéraire. Il s'inspire du courant allemand *Körperkultur* (culture du corps) qui donne beaucoup plus de valeur au corps et au mouvement [582]. Sa méthode est née d'expériences avec des élèves de solfège et d'harmonie au Conservatoire de Genève [234]. Constatant les difficultés rythmiques de ses élèves, Jaques-Dalcroze a déduit que le manque de compréhension rythmique et harmonique des futurs musiciens provenait du fait qu'ils ne faisaient l'expérience de l'audition que lorsqu'ils étaient censés écrire. Sur la base de ces constatations, il a commencé à élaborer une série d'exercices pour remédier aux difficultés des élèves. Les exercices cherchent à établir des relations entre le mouvement et l'ouïe, les sons et les durées, le temps et l'énergie,

le dynamisme et l'espace, la musique et le geste [234]. L'objectif premier des exercices rythmiques est de familiariser l'élève avec les éléments du langage musical à travers le mouvement du corps. En effet, à travers la musique, l'élève reçoit une éducation complète qui passe à la fois par l'expérience sensori-motrice et par l'expérience esthétique. Jaques-Dalcroze souhaitait qu'une fois les principes compris, la rythmique soit adaptée aux caractéristiques des enfants de chaque pays, et qu'il y ait un intérêt de l'enseignant pour son perpétuel renouvellement. De ce fait le matériel didactique doit être élaboré par l'enseignant lui-même, en fonction des besoins des élèves [234].

Par le biais de mouvements corporels, l'élève commence à expérimenter des sensations physiques en relation avec la musique, ouvrant ainsi des voies de créativité et d'expression. Le grand objectif de sa théorie pédagogique appelé la « rythmique » était de faire en sorte que l'élève fasse l'expérience et puisse ainsi développer sa connaissance. Or, il cherche la libération de l'élève de l'enseignement guidé par la lecture et l'écriture vers un enseignement appuyé sur la perception, la sensation pour aboutir à l'analyse.

De manière similaire aux pédagogues de son époque, il inscrit sa pensée pédagogique dans les réformes de l'enseignement suite aux transformations sociales. Jaques-Dalcroze s'inspire dans la théorie de Mathis Lussy pour imaginer le rapport entre l'affectivité et l'expression musicale [82].

Les trois éléments de base de la méthode de Jaques-Dalcroze sont le rythme, le solfège et l'improvisation [234]. En premier lieu, l'auteur part du fait que les premières expériences musicales sont de niveau moteur. Pour l'enfant, la perception du son et sa traduction motrice sont les premières expériences et il prend généralement plaisir à l'expérience physique. Suite à son observation des mouvements naturels des enfants - marcher, courir, sauter et se balancer - qui expriment naturellement des éléments de musique, il crée une méthode d'apprentissage. Le corps devient alors un moyen privilégié d'expérimenter la dimension temporelle de la musique, et la rythmique peut être comprise comme une stimulation de l'activité motrice par des événements musicaux.

La méthode de Jaques-Dalcroze cherche la fusion entre la musique, la parole et le geste. Il soutient que cette unité artistique n'est pas possible qu'avec une éducation musicale qui rejoint les mouvements corporels et sonores, ainsi que

les éléments musicaux et plastiques [86].

L'auteur écrit que l'utilisation du corps permet la sensibilisation à la musique. Le cas est fondamentalement évident pour la sensibilisation de la conscience rythmique. Sa vision de l'éducation musicale est d'utiliser le corps comme un intermédiaire entre les sons et la pensée. L'écoute et la performance corporelle prennent une place primordiale. Jaques-Dalcroze écrit que la conscience rythmique peut augmenter grâce au raffinement des mouvements dans le temps et l'espace [323].

Jaques-Dalcroze précise que le mouvement du corps a une double fonction : la manifestation visible des éléments musicaux expérimentés par les sens, les pensées et les émotions, tout en étant une stratégie pour perfectionner la conscience rythmique par l'expression. La base théorique de Jaques-Dalcroze est l'idée d'une mémoire corporelle, réalisée par d'autres parties du corps, outre l'oreille. Le mouvement du corps est utilisé comme un moyen de sensibilisation et d'expérimentation non seulement du rythme, mais de tous les éléments du langage musical, tels que la hauteur des sons, les intervalles, les notes des accords, les structures harmoniques et les cadences. Parmi les exercices, l'élève observe également son corps, la régularité du mouvement et recherche l'économie du geste.

Le solfège dalcrozien vise à être ressenti avant d'être lu et analysé. L'élève doit pouvoir chanter, bouger, gesticuler, diriger et jouer des instruments de percussion. Pour Émile Jaques-Dalcroze le solfège est relatif même si sa méthode utilise le système de *Do* fixe. Dans son enseignement les élèves dessinent des courbes qui représentent la mélodie, et avec des symboles ils indiquent la durée des notes. Après que ce processus est bien compris, l'élève commence à apprendre la notation musicale progressivement.

Jaques-Dalcroze a insisté sur l'aspect de l'improvisation dans le processus d'apprentissage de la musique. Pour lui, l'improvisation vocale ainsi que l'improvisation instrumentale ou corporelle devraient occuper un espace dans les cours de musique. À son avis l'improvisation devait faire partie du cours à partir du début car l'intérêt d'apprendre la musique était surtout d'exprimer ses propres idées [234].

### 1.2.2 Méthode de Zoltán Kodály

Zoltán Kodály (1882 - 1967) envisageait la démocratisation de la connaissance musicale pour créer un grand nombre de musiciens amateurs et pas nécessairement de musiciens professionnels dans la société. Pour lui, des cours de musique devraient être régulièrement proposés dans les écoles afin de promouvoir l'appréciation de la musique et la pensée musicale, faisant ainsi de la culture et des compétences musicales une partie intégrante de la vie du citoyen. Conformément à sa conception, l'alphabétisation musicale comprend l'appropriation de la musique avec la capacité de penser, d'écouter, d'exprimer, de lire et d'écrire le langage musical [141].

Il est important de noter que dans la pédagogie Kodály, comme dans d'autres méthodes actives, la sensibilisation et l'expérience musicale systématisée précèdent toujours le processus formel d'alphabétisation » et d'apprentissage du contenu musical [363].

La méthode de Kodály est principalement construite sur l'utilisation de la voix. Il utilise les chansons et les jeux d'enfants chantés dans la langue maternelle, les mélodies folkloriques nationales, et des thèmes dérivés du répertoire occidental académique. Pour lui, il était important que les enfants connaissent les chansons, les jeux d'enfants et les mélodies folkloriques avant qu'ils n'aillent à l'école. De cette manière, l'utilisation de musique folklorique et populaire assiste à la formation des valeurs musicales et à l'établissement de leur identité culturelle. Pour Kodály, la musique folklorique réunit les chants de mariage, les chants de fête, les lamentations, les chants de travail, les chants de récolte, entre autres. Cette musique dérivée des aspects sociaux et régionaux est transmise de génération en génération d'une même localité ou nation (il a revigoré le nationalisme hongrois et l'identité de sa nation à travers la musique) [141]. Parallèlement, sa méthode utilise le répertoire classique occidental avec des œuvres de Monteverdi, Bach, Haendel, Mozart, Beethoven, Schumann et d'autres compositeurs des périodes baroque, classique, romantique et contemporaine. L'utilisation du répertoire classique contribue à l'apprentissage de la littérature musicale générale et à un enrichissement culturel de l'apprenant.

Kodály donnait une grande importance au niveau de performance musicale

d'un professeur de musique. Sa pédagogie est d'abord centrée sur la figure du professeur, qui devient le modèle musical à suivre pour les élèves.

Sa proposition pédagogique vise à que l'organisation des contenus suive les schémas d'habitudes d'un enfant pendant son développement [141]. Zoltán Kodály cherchait à que les cours de musique soient compris comme faisant partie intégrante du programme scolaire.

Pour Kodály, le principal moyen permettant d'accéder à la musique est l'utilisation de la voix, le chant, disponible pour toute personne et présent tout au long de sa vie. Dans sa méthodologie, c'est par le chant que l'élève s'exprime musicalement et développe sa capacité à lire et à composer la musique. Avec György Kerenyi, Jenő Adám et Erzebet Szönyi il a créé des livres de contenus solfégiques progressifs avec la gamme pentatonique comme point de départ. Ces livres incluent généralement la lecture relative sur la portée et le solfège par le nom des notes (rythme) sans utilisation de la portée [365].

Kodály utilise la « solmisation relative » (*do* mobile ou *Tonic Sol-Fa*) ou la tonique les hauteurs sont chantées de manière relative, c'est-à-dire que la note dans la position du *do* (dans la gamme de *do* majeur) restera appelé *do* quelque soit la tonalité. Les noms des notes déterminent la distance de l'intervalle. Dans la lecture relative, lorsque les notes sont altérées avec un demi-ton au-dessus (#), elles reçoivent la voyelle « i » produisant : *Di, Ri, Mi, Fi, Si, Li et Ti*. Lorsque les notes sont altérées d'un demi-ton en dessous de (b), elles reçoivent la voyelle « a » produisant *dá, Rá, Má, Fá, Sá, Lá, Tá* [559].

Le travail sur les modulations donne une possibilité qui n'est pas possible avec la solmisation absolue. Par exemple, l'enseignant chante avec le système de signes les notes *do-mi-sol* dans la gamme de *do* majeur. Les élèves répètent. Ensuite, l'enseignant chante jusqu'à *mi*, il maintient le son et il change le nom de *Mi* en *Do*, en chantant la même hauteur, mais en créant une « nouvelle tonique ». L'exercice devient transposé une tierce plus haute, mais avec les mêmes noms *do-mi-sol*. Les intervalles chantés seront eux de la gamme de *mi* majeur.

La méthode de Kodály utilise le système de signes de la main développé par Sarah Ann Glover et John Curwen. Le système consiste à faire une position particulière avec la main pour représenter chacune des notes de la gamme. Ce système, rend le solfège (indépendant de la partition) visuellement concret,

un facteur important dans l'apprentissage des débutants en musique [93]. Le geste avec la main renforce la sensation d'intervalle et aide à la visualisation spatiale de la direction du son (haut - bas / bas - haut) et à la relation entre les hauteurs chantées. Selon Curwen et Kodály le système contribue également au développement de la mémoire musicale et à la perception d'hauteurs. Au début de l'apprentissage, il est important que l'enseignant et les élèves fassent les mouvements de la main lors du solfège. La vitesse de mouvement de la ou des mains indique la durée des notes chantées (le rythme).

### 1.2.3 Méthode de Maurice Martenot

L'approche de Maurice Martenot (1898 - 1980) a pour origine l'appréciation de l'homme en tant qu'être doté d'un corps et d'un esprit, inséré dans un contexte historico-social spécifique. Sa proposition est le développement holistique de l'être humain, et son objectif est de collaborer à la croissance globale de l'individu.

Martenot base sa pédagogie sur la distinction entre l'enseignement d'art et l'éducation par l'art [516]. Peu importe l'instrument musical, le processus d'apprentissage doit être destiné à l'instrument humain, pour impulser sa réceptivité à la qualité des sons, à l'interprétation et à la création. La maîtrise de l'instrument humain est essentielle car toute sonorité est toujours subordonnée à un mouvement. Selon lui, l'art doit être la fondation de l'instruction vers la musique, car l'exposition de l'élève à l'art permet sa sensibilisation. Il remarque aussi la différence qui se trouve entre l'obtention des résultats tangibles et des résultats impondérables. Les résultats tangibles sont la dextérité dans l'instrument, la virtuosité et tout ce qui concerne la partie « mécanique » de l'exécution instrumentale. Tandis que les résultats impondérables sont moins visibles et ils sont seulement perceptibles à long terme. Ces derniers agissent sur le développement de l'être en forme de maîtrise de soi, son imagination créatrice, sa sensibilisation générale, etc. Selon Martenot les résultats impondérables sont l'essentiel car le développement de l'être mène à la participation contrôlée et consciente du système musculaire et nerveux guidée par la sensibilité musicale.

Martenot met l'accent sur l'importance de la relaxation dans la pratique

musicale pour parvenir à l'engagement des muscles concernés. La relaxation active de Martenot consiste à éviter les contractions musculaires involontaires et à chercher activement l'apaisement psychologique. Il fait un appel au concept de « respect de la nature » avec lequel il essaye de donner un rôle actif à l'élève dans sa pratique pour chercher la technique adéquate à l'instrument et au style de musique. Il soutient l'importance de la corporalité de la musique, surtout dans le rythme. Dans son livre des principes concernant sa méthode, il soutient l'idée que le début à l'appréciation musicale doit commencer de la plus jeune âge. Il indique que le développement de la mémoire musicale doit se passer avant que tout autre acte d'apprentissage de la musique. Cependant l'éveil de la sensation auditive et la perception des éléments sonores doivent être à la base de la mémorisation. La représentation mentale de l'interprétation musicale doit être présente avant que le musicien commence l'exécution de la pièce.

Martenot fait la différence entre la mémoire musicale « pure » et les mémoires musicales « auxiliaires » [516]. La mémoire musicale doit appuyer le processus du chant interne que doit pratiquer l'élève.

À propos du « respect de la vie », Martenot indique l'importance de la maîtrise de soi, et l'importance de l'enseignant pour cultiver la confiance de l'être [516]. Comme d'autres auteurs des pédagogies actives, Martenot favorise l'improvisation vocale, l'improvisation instrumentale et la composition. Pour lui l'enseignement de la théorie musicale se fait par l'usage pratique des règles [516]. Les règles musicales sont plutôt une extrapolation des schémas utilisés par les compositeurs. Les règles ne représentent pas des lois immuables de la musique mais elles donnent un point de départ pour la compression des pratiques courantes d'un groupe des compositeurs d'une certaine époque.

L'enseignement commence par l'écoute et par l'imitation. Martenot encourage le travail collectif et incite le chant libre d'élèves. Par rapport à la lecture des partitions il est partisan d'une lecture baste et « globale ». Il incite les apprenants à lire à l'avance et à réagir aux cellules rythmiques. De manière similaire pour les notes, il essaye de créer des automatismes qui pourront créer un réflexe chez l'élève. L'auteur soutient que l'imitation devrait être présente dans l'apprentissage musical à tous les niveaux et à tous les moments. Pour lui, seul ce qui est correctement reproduit par imitation peut être approché en lecture.

À propos de la dictée musicale, Martenot essaye d'inciter la faculté de l'audition absolue, qualité qui reste possible à former pour lui. Martenot affirme que ce processus a besoin d'automatismes physiologiques aussi pour préparer la voix à la répétition des sons entendus.

#### 1.2.4 Méthode de Carl Orff

Carl Orff (1895 - 1982) était un compositeur et pédagogue allemand. Il est le compositeur de l'œuvre *Carmina Burana*. Les idées pédagogiques d'Orff s'inscrivent de manière parallèle aux autres appartenant aux méthodes actives. Il cherchait à créer une formation non élitiste et ludique ouverte à tous les âges. Sa méthode pédagogique appelée *Orff-Schulwerk* part de la notion que le langage, la musique et le mouvement sont originellement interconnectés par le phénomène rythmique. La méthode vise à enseigner la musique à partir de la pratique et l'enseignement se fait en groupe. La méthode d'Orff tient en compte la musique et la culture de la région où l'enfant grandit. Le rôle de l'enseignant c'est d'adapter les exercices au folklore du pays.

La pédagogie d'Orff commence par chercher le lien entre la musique et la danse. Cette idée a été proposée à partir de l'expérience d'Orff dans la *Günterschule* qui était une école créée par lui et Dorothee Günter où l'objectif était de créer un lien entre la danse et la musique. Au sein de l'école les danseurs étaient amenés à chanter et les musiciens à être plus à l'aise avec les mouvements. La collaboration entre les deux arts était très encouragée. Les musiciens devaient accompagner la danse, créer des nouveaux instruments et comprendre les structures du mouvement. Le répertoire était basé sur la musique baroque, de la renaissance ou d'autres cultures [651].

Pendant la Seconde Guerre mondiale, la *Günterschule* a été fermée et détruite. Cependant en 1948 une série d'émissions de radio a invité Orff et ses collègues à créer une série de programmes musicaux pour les enfants, avec de la musique interprétée par les enfants eux-mêmes. Orff et sa collègue Gunild Keetman ont été confrontés au défi d'adapter aux enfants la proposition de mouvement et de musique, initialement destinée aux jeunes et aux adultes. Dans ce processus d'adaptation, l'importance de commencer l'éducation rythmique le plus tôt



possible est devenue de plus en plus évidente.

La connaissance des structures rythmiques est à la base de l'enseignement de *Schulwerk*. Orff propose l'utilisation du langage pour comprendre les formules rythmiques et la création à travers de l'improvisation. Cela pose la difficulté d'être une méthode qui a besoin d'enseignants sensibles à la langue et à la culture musicale locale. Les noms propres, les rimes, les chansons d'enfants et les poèmes sont la base des modèles rythmiques, des improvisations mélodiques et des activités corporelles, constituant le point de départ de petites cellules rythmiques. Ces cellules rythmiques commencent par être de caractère binaire, sans anacrouse, et utilisant des figures simples sont la base de structures rythmiques plus élaborées. Ces structures permettent également les premières avec les instruments [68].

L'enseignement de la musique commence par des motifs mélodiques de trois à cinq notes. Les premières gammes sont la pentatonique majeur et après la mineur. Les élèves chantent les lignes mélodiques aussi que le rythme à la manière d'une récitation rythmique.

Dans la proposition d'Orff, l'improvisation joue un rôle prépondérant. Les élèves sont amenés à synthétiser leur compréhension des concepts et leur capacité à les exécuter en créant une courte formule musicale improvisée (dont la durée et la complexité varie en fonction des niveaux des connaissances). En répétant et en combinant ces improvisation à la demande de l'enseignant, les enfants peuvent créer des compositions individuelles ou collectives complexes et pourtant de manière simple à leur compréhension.

La pratique musicale de la méthode Orff utilise d'instruments musicaux originaux ou pas mais adaptés aux niveaux de découverte musicale. Son élaboration était faite pour accompagner les cours de la *Güntershule*. Suite au succès d'émissions de la radio bavaroise, les écoles allemandes se sont intéressées et des nouveaux instruments ont été élaborés. L'ensemble d'instruments est formé par des flûtes, des instruments percussifs à hauteur défini (plaquettes, tympan) et des instruments percussifs à hauteur indéterminée, la méthode utilise des cordes frottées et pincées.

La posture du corps doit être souple et détendue, avec les coudes éloignés du corps. Pour obtenir la meilleure qualité sonore, chaque contact de la baguette

sur les cymbales doit se faire en gardant la souplesse et flexibilité du poignet. On commence avec les deux mains simultanément, en observant toujours la hauteur des mains et des bras, la distance par rapport à l'instrument et la précision équilibrée du toucher dans les deux mains. Selon Orff même l'instrument le plus simple doit avoir une correcte instruction et attention aux sonorités. Toute expérience musicale a une influence sur les futures interprétations et pratiques musicales.

L'improvisation, la création de sa propre musique fait partie du principe fondateur du travail scolaire et devrait être envisagée par l'enseignant dans chaque leçon. L'auteur mentionne les catégories suivantes : improvisation mélodique (vocale ou instrumentale), improvisation rythmique (métrique et non-métrique), improvisation idiomatique (création de texte, invention de mots) et improvisation de mouvement. Le développement de l'imagination musicale est un pilier de la méthode d'Orff. Ainsi, même les enseignants qui utilisent la méthode sont amenés à improviser pour s'adapter à leur contexte particulier [8].

Les exercices proposés par Orff dans le *Schulwerk* sont créés à partir de l'idée de la musique élémentaire ou de base. Cette musique selon Orff est la matière première ou le premier principe qui est lié au mouvement à la danse et au langage [445]. Le développement de la culture musicale est également flexible ; Orff pensait qu'elle devait absolument faire partie de l'apprentissage du *Schulwerk*, mais il n'a pas donné de directives sur la manière de l'accomplir.

Le *Schulwerk* constitue cinq livres publiés entre 1950 et 1954. Le premier livre utilise la gamme pentatonique. Le deuxième livre utilise les accords parfaits et présente l'heptaphonie dans le mode majeur. Le troisième livre utilise les dominants en mode majeur dans le travail d'harmonie. Le quatrième livre utilise le mode mineur et les modes anciens. Dans le cinquième livre Orff présente les dominants mineurs et couvre les bases d'harmonie dans les sept degrés de la gamme. Les exemples musicaux proposés dans les cinq volumes n'obéissent pas à une séquence linéaire et doivent être étudiés simultanément, selon les besoins de chaque groupe. Une condition indispensable de la méthode est que, dans toutes les activités, l'enseignant maîtrise les paroles, la structure rythmique et la mélodie, c'est-à-dire qu'il a intériorisé la partition [8].

La méthode d'Orff identifie l'exploration, l'imitation, l'improvisation et la

création comme les phases du développement musical. Le *Schulwerk* lui-même n'établit aucune séquence définie de sujets ; celle-ci doit être déterminée par chaque enseignant en fonction des besoins du programme particulier [710].

### 1.2.5 Méthode d'Edgar Willems

Les principes d'Edgar Willems (1890 - 1978) ont eu un grand effet sur l'environnement de l'éducation musicale au début du XXe siècle. Sa conception de la musique comme valeur humaine, partie intégrante et essentielle de l'éducation, a intéressé tous ceux qui étaient désireux d'une vision plus globale et intégrale de l'étudiant.

Le discours de Willems impressionne par son exhaustivité et sa profondeur. Les ouvrages de Willems ne rendant pas explicites les fondements philosophiques. Dans sa méthodologie, Willems souligne que tout acte humain est une action musicale, car sa méthode est basée sur le lien entre la nature humaine et les éléments essentiels de la musique. Selon Willems, le rythme est une nature philosophique que nous possédons tous, et que nous devrions développer. D'autre part, il définit la mélodie comme une nature affective qui se développe à travers l'harmonie et qui a un lien avec l'esprit. Il fait partie du courant des pédagogues comme Orff, Kodály ou Jaques-Dalcroze qui ont constitué la première génération de transformateurs de l'éducation musicale. Ils ont favorisé le passage d'un système d'éducation mécanique et sans vie à une éducation musicale vivante, agréable et, surtout, centrée sur l'enfant [544].

Dans le premier tome de son œuvre *L'oreille musicale* [838], Willems s'intéresse à la préparation auditive de l'enfant. Le travail de l'oreille doit s'appuyer sur les domaines physiologiques, affectifs et mentaux. Ce travail utilise la voix comme point de départ. Il commence son discours pour reconnaître la différence entre l'acte mécanique impliqué en jouer un instrument et le développement de la musicalité chez l'individu. Il insiste sur le développement de la musicalité car elle est la base qui rend possible l'expression de la pensée musicale à travers l'instrument [838]. À son avis l'élève utilise des diverses mémoires dans l'apprentissage de la musique. Il est important que le professeur soit conscient des moments où la mémoire visuelle est utilisée pour lire des notes, ou quand

la mémoire musculaire est utilisée pour produire les sons avec la voix ou avec l'instrument. Cependant pour lui, l'audition intérieure doit être toujours le point de départ qui va diriger le mouvement des doigts ou la conceptualisation de l'information lue.

Edgar Willems approfondit en disant que le processus pour acquérir l'acuité auditive commence par la perception des caractéristiques des sons successifs et après des sons simultanés [838] (idée que garde une relation avec la théorie de l'analyse de scène auditive). Selon lui, l'individu sain (il parle notamment d'enfants) peut reconnaître une différence de mouvement sonore jusqu'au huitième ou seizième de ton. Le travail de perception sonore simultanée a pour but l'apprentissage de dissocier les sons de façon qu'ils puissent être appréciés séparément et successivement [838].

Willems parle aussi de l'importance d'apprendre à reconnaître les sons harmoniques qui composent la sensation de timbre sonore. Il parle aussi de l'effet de l'addition des sons qui génèrent un nouveau résultat à l'addition des fréquences fondamentales avec les fréquences harmoniques dictées par les matériaux et les constructions d'instruments. Dans un sens général, Willems envisage l'audition sous trois aspects : la réceptivité sensorielle auditive, la sensibilité affective auditive et la perception mentale auditive [838].

Dans le deuxième tome de son œuvre, Edgar Willems se focalise sur le travail à faire pour les musiciens pour le développement de leur oreille [838]. Il comprend que son travail s'ajoute à l'ensemble de l'œuvre des méthodes actives comme celle de Max Battke, Carl Seashore, Walther Howard, Alexandre Denéréaz, et Émile Chevais. Il reconnaît l'apport d'Emile Jaques-Dalcroze et Lyde Malan à la pédagogie musicale surtout dans le développement rythmique. Willems identifie des ressources essentielles pour le développement auditif : Le développement sensoriel rendu possible grâce à un matériel approprié, l'étude des gammes conçues comme des ensembles d'intervalles, l'étude de l'espace intratonal (conseillé jusqu'au 1/200e de ton), l'étude sensorielle et affective des intervalles, l'étude affective des accords de façon tonale et atonale, les bases sensorielles, affectives, et mentales du développement et la possibilité d'adopter ces bases pour l'étude de tout autre art [838].

Il s'appuie sur les travaux de Helmholtz [838] pour établir la priorité de la

sensibilité sur l'intelligence et la connaissance conceptuelle. La sensorialité et l'affectivité doivent être d'abord l'élément qui mène à l'action. Plusieurs enseignants de musique qui cherchent des résultats rapides (très souvent motivés par les souhaits parentaux) se focalisent sur des compétences facilement évaluables (ce sont des idées qui ont été partagées plus récemment par l'auteur Gary Karpinski). Ce type de professeurs guidé par l'ignorance ou la négligence le « développement de l'intelligence au détriment de la sensibilité » [838].

Willems parle des trois niveaux de perception auditive :

- Ouïr, un processus passif, possible grâce à la sensorialité.
- Écouter, un processus qui donne suite à une action poussé par l'affectivité auditive.
- Entendre, un processus de compréhension dans lequel l'intelligence joue un rôle suite à une réponse affective et une réflexion.
- Le but de l'enseignement est de pouvoir agir volontairement grâce à l'attention et la réflexion sur la perception.

Il faut mentionner que les trois niveaux de Willems ont possiblement influencé Pierre Schaeffer dans le *Traité des objets musicaux* (1966) [688] qui distingue quatre écoutes : ouïr, entendre, écouter et comprendre.

Il signale que l'éducation musicale, surtout dans l'instruction classique n'arrive pas à atteindre une ouverture d'esprit pour apprécier la musique d'autres cultures. Selon lui, le musicien doit être ouvert à l'environnement qui l'entoure. Willems soutient que nous pouvons nous rendre compte d'une musique créée de manière notamment intellectuelle et une musique née par la sensibilité et contrôlée par l'intelligence. Dans ce sens le musicien doit être ému par le son et par les rapports sonores présents (l'affectivité jouant un rôle principal) [838].

Il parle de l'importance du travail de l'imagination rétentive et reproductrice, liée à une mémoire mélodique. Cette mémoire est possible par l'affectivité donnée aux hauteurs et ses relations tonales. Pour cette raison chaque l'intervalle mélodique a une signification précise comme élément constitutif de la gamme [838]. La succession d'intervalles dans la gamme crée des tensions affectives. La gamme reçoit ces éléments caractéristiques pour façonner le sens tonal, ce qui s'appuie dans la sensibilité de l'individu.

Willems écrit que l'apprentissage de la musique est d'ordre physiologique,

affectif et mental. Selon lui la sensorialité s'occupe du son, l'affectivité de la mélodie et l'intelligence de l'harmonie. De ce fait, il propose un ordre d'apprentissage qui commence par l'étude des sons, suivi par des mélodies, des gammes, d'accords, d'intervalles, de polyphonie et d'harmonie. Après cette progression pédagogique l'élève pourra continuer avec l'improvisation, la composition et le chant choral. Dans le développement de l'affectivité sonore, il suggère à l'élève de trouver son ressenti par rapport aux notes, aux accords et aux tonalités. Edgar Willems insiste sur la valeur de la corporalité dans la musique, et spécialement pour la compréhension du rythme. Également, il évoque très souvent l'influence d'états affectifs dans l'intellect. De la même manière, il place la mémoire sensorielle à la base de la mémoire affective et celle-ci à la base de la mémoire intellectuelle.

### 1.2.6 Méthode de Shinichi Suzuki

L'éducation par le talent est le nom utilisé pour désigner une idée d'éducation musicale développée par le violoniste japonais Shinichi Suzuki (1898 - 1998), et initialement pensée pour l'enseignement et l'apprentissage de la musique (violon) par les enfants dans le contexte japonais. Depuis sa création dans les années 1930 et son application ultérieure à l'intérieur et à l'extérieur du Japon, la méthode Suzuki a été adaptée à divers instruments, cultures et réalités, et a été utilisée dans plusieurs pays du monde.

Suzuki part de l'idée que l'enseignement doit être ouvert à tous les enfants et pas seulement à quelques enfants identifiés comme « doués ». La philosophie de l'éducation du talent est que le talent n'est pas inné, mais il peut être cultivé chez n'importe quel enfant.

L'observation qu'a permis Suzuki de créer sa méthode concerne l'apprentissage de la langue maternelle. Suzuki a observé que les bébés et les jeunes enfants apprennent leur langue maternelle, y compris les accents et les caractéristiques dialectales, de façon naturelle et avec un taux de réussite élevé (ils arrivent à improviser et à utiliser leurs connaissances linguistiques dans relativement peu de temps, peu importe la complexité de la langue) [756].

Selon Suzuki, les éléments qui influencent le développement musical de l'en-

fant sont les facteurs environnementaux, la répétition, la motivation, l'attitude parentale vers le développement des compétences, la coopération et le travail en groupe. Il soutient que l'homme est le résultat de son environnement et celui-ci l'influence depuis sa naissance. Selon lui ce qui n'existe pas dans l'environnement ne peut être développé [347]. L'approche de Suzuki est fondée sur l'idée, selon laquelle il existe une période de la vie au cours de laquelle le développement peut être plus affecté par des stimuli qu'à d'autres moments. La création de la culture musicale doit commencer lorsque les enfants sont jeunes, et dans le lieu d'apprentissage le plus simple et familier pour eux : à la maison.

Suzuki avait l'idée que même si un nourrisson n'est pas en mesure de commencer l'apprentissage formel d'un instrument, il convient de créer le plus tôt possible un environnement d'apprentissage correct. La procédure recommandée consiste à faire écouter régulièrement au nourrisson des enregistrements de bons interprètes. Plus tard dans l'éducation de l'élève, le parent poursuit la stimulation de l'environnement en faisant écouter quotidiennement à l'élève le morceau sur lequel il travaille, ainsi que les morceaux qu'il travaillera dans un avenir proche. Dans la même idée de la création d'un environnement favorable pour le développement, Suzuki encourage les parents à fréquenter des personnes avec les qualités que les parents souhaitent que leurs enfants imitent.

Selon Suzuki, les parents doivent apprendre les bases de l'instrument que leur enfant va apprendre. L'enfant apprend par imitation mais il n'arrive pas à se focaliser pendant longtemps, en conséquence les cours de musique ne sont pas suffisants et les parents sont encouragés à prendre le rôle du professeur à la maison. Le parent qui va accompagner l'enfant doit apprendre la bonne posture. Le parent doit également inciter le travail de l'oreille.

Suzuki affirme que l'enfant apprend grâce à la valeur émotionnelle de la musique. Ainsi les enfants ressentent des émotions musicales à travers la répétition, la familiarisation et la maîtrise. Toute la philosophie de l'apprentissage est fondée sur l'apprentissage de la langue maternelle. La persistance nécessaire à l'étude d'un instrument de musique doit être encouragée au quotidien par les parents. De manière analogue au langage, le développement du langage musical se fait d'abord par l'écoute, la répétition, la compréhension et la lecture. Pour cette raison, le développement de l'oreille a une place fondamentale.

Suzuki s'est inspiré dans le Soto-Zen (une des branches du bouddhisme zen) pour son approche pédagogique, notamment en ce qui concerne la répétition et la mémoire [452]. Selon cette philosophie, la répétition a une très forte valeur car elle change la perspective entre la concentration sur la technique et la concentration sur le son produit. Suzuki a dit que « La capacité est égale à la connaissance plus 10 000 fois ». Il croyait très fortement à la valeur de la répétition pour atteindre la maîtrise. Suzuki motivait ses élèves à répéter soigneusement après chaque cours en mettant en avant le pouvoir de la mémoire [43]. Selon Suzuki si un mouvement est effectué de manière incorrecte il peut devenir une habitude qui prendra à l'étudiant beaucoup de travail pour s'en débarrasser. Suzuki justifie et motive la mémorisation dans l'apprentissage musical.

Suzuki s'appuie également sur le rôle de l'apprentissage collectif [618]. Il comprend que l'engagement de l'étudiant avec la musique et sa pratique instrumentale va en lien avec sa participation musicale avec d'autres étudiants. Les enfants doivent regarder les autres jouer et jouer avec eux. Les cours collectifs ne doivent pas remplacer les cours individuels, mais ils aident au partage et au développement de l'écoute. Les cours collectifs et les activités en groupe permettent également le partage d'information, l'imitation et la création d'un sens d'appartenance à une communauté liée à la musique. Un aspect positif du travail groupal est que la convivialité permet une compétition saine.

### 1.2.7 Méthode de Raymond Murray Schafer

Raymond Murray Schafer (1933 - 2021) était un compositeur, chercheur, écologiste et pédagogue canadien. Il a défini le concept du paysage sonore pour décrire la relation entre le son, l'environnement et l'impact qu'a eu l'humanité sur les environnements sonores (notamment dû au rôle de l'industrie) [691]. A son avis les déséquilibres acoustiques créés sur l'environnement ont un impact terrible sur les générations futures et actuelles et pour la planète en générale. Il s'est intéressé par le rapport au bruit et au son dans les législations et il s'est rendu compte qu'elles ne tenaient en compte plus que la restriction aux bruits. Les lois en général négligeaient la qualité d'environnement sonore.

Depuis les années 1960 il a dédié une partie de son travail à sensibiliser



des personnes de son entourage à l'importance du paysage sonore. Dans ses compositions, Murray Schafer utilise des sons « oubliés » comme les sons de la nature, des animaux ou tout simplement des éléments. Il a également composé des œuvres pour être joués dans des espaces naturels comme la forêt ou à côté d'un lac. Il était conscient de l'influence de l'espace où ses œuvres allaient être produites. Dans son travail comme compositeur il cherchait aussi la création d'un nouveau style de théâtre où tous les arts peuvent être utilisés avec le même niveau de priorité. Murray Schafer appelle ce style la confluence d'arts.

Murray Schafer parle aussi d'aspects sacrés de chaque société qui sont générés par les traditions mythologiques de chaque culture. Même si les mythes ne sont plus compris ou explicitement présents, ils font encore partie de sociétés occidentales. Selon Schafer le rôle de l'art est de récupérer les valeurs du sacré dans la société moderne pour générer des liens plus forts avec la communauté et l'environnement. L'art doit être un outil transformationnel de l'être humain moderne. Il essaye dans ses œuvres de créer un espace pour la redécouverte du sacré, la participation collective et la perception des sons qui entourent les interprètes.

Raymond Murray Schafer présente des propositions pédagogiques, pourtant il n'a pas créé spécifiquement une méthode pédagogique. Dans le travail et les propositions de Schafer il y a un apparent manque d'ordre. Il ne donne pas une structure linéaire de travail dirigé à un certain groupe d'âge, ni propose une adaptation pour utiliser ses idées dans un programme scolaire. Schafer présente plutôt une philosophie pour développer la créativité et la sensibilité.

Dans son œuvre *The Rhinoceros in the Classroom* [690] Schafer indique quelques principes qui guident son approche pédagogique :

- Dans un premier temps l'enseignement doit partir de la musique en tant qu'élément réel et pratique avant d'étudier tout type de théorie. Les théories et les idéologies ne doivent pas précéder la pratique. La musique doit être créée et ressentie avant d'être conceptualisée.
- Dans l'apprentissage, les échecs sont plus importants que les réussites. La réflexion suite aux échecs est le meilleur professeur car elle oblige à examiner le travail réalisé. Ce principe philosophique s'applique aux élèves comme aux professeurs qui doivent être toujours dans la recherche

des nouvelles méthodes.

- L'enseignement, l'apprentissage et la pratique musicale abritent des accidents, des altérations, des reculs, et des sauts; ces caractéristiques l'approchent à l'authenticité de la vie. Le risque des circonstances qui provoquent la recherche des chemins alternatifs est présent et il doit être pratiqué constamment.
- L'enseignement fait partie de l'apprentissage. Schafer propose de sortir de la verticalité de l'enseignement où le professeur à une autorité sur l'élève. Selon Schafer une éducation démocratique permet l'autonomie et la participation dans le sujet de travail dans le cours. Le cours est un moment de découverte et d'expériences.
- Ne pas concevoir une philosophie de l'éducation pour les autres mais plutôt une philosophie personnelle. Le professeur est un critique de lui-même attentif à la réalité, sensible à ses propres désirs et à ceux de ses élèves, heureux de ne pas trahir ses pensées, ses sentiments et ses convictions. Lorsqu'il prépare une leçon, l'enseignant a la possibilité de la façonner en fonction de ses propres valeurs, goûts et choix.
- L'enseignement n'est pas parfait et il n'y a pas de certitudes. Schafer veut que l'enseignant accepte sa faillibilité, qui ne sera surmontée que lorsqu'il s'assume comme un être réflexif, attentif, critique envers lui-même et à la recherche d'une amélioration constante.

Schafer résume le rôle de l'enseignant dans trois axes d'accompagnement aux élèves :

- La découverte et l'impulsion de leur créativité musicale.
- L'appréciation du paysage sonore. La compréhension du rôle de l'être humain dans sa création et le développement d'une critique sur sa qualité.
- La recherche du développement ou l'union de tous les arts.

Schafer ne propose pas des contenus musicaux spécifiques. Il ne s'oppose pas aux enseignements musicaux traditionnels mais il encourage la présence d'autres sujets, qui ne sont pas habituellement présents dans les cours de musique. Schafer incite l'amélioration de l'écoute, et le changement de rapport avec l'environnement sonore qui entoure l'apprenant.

Dans son œuvre *A Sound Education* [689] Schafer met en valeur l'importance

du silence, et de l'écoute du silence (apparent). L'auditeur peut ainsi remarquer les sons qui sont présents dans son quotidien et se rendre compte de l'influence qu'il a sur son paysage sonore. Schafer encourage à créer une liste des sons perçus et de les classer par leur origine de production (humain, nature, machine), leur intensité, leur hauteur, leur durée, leur timbre et aussi des nouvelles catégories personnelles. Ensuite, l'activité doit être menée dans un nouvel endroit, et discuté en groupe. Schafer propose aussi la représentation sonore d'un espace étudié par un groupe. Dans cet exercice les participants imitent des sons du lieu choisi en utilisant uniquement la voix.

Schafer propose l'exploration de la modification du paysage sonore par le biais de l'addition d'une source sonore. À la place de la perspective de contrôle de bruit pour obtenir la réduction des sons, Schafer propose la participation à « l'orchestration » d'un environnement sonore agréable.

### 1.2.8 Influence des méthodes actives

Les méthodes présentées dans cette section ont changé la manière dont la musique est enseignée. Elles continuent à influencer les pédagogies actuelles et à favoriser le développement de nouvelles théories et pratiques.

Les recherches récentes confirment la pertinence des théories de Jaques-Dalcroze sur la Rythmique, toujours appliquées dans de nombreux programmes d'études musicales dans le monde [522]. Ces études mettent en évidence les effets positifs de la Rythmique sur le développement des compétences musicales et instrumentales ainsi que sur les facultés humaines en général. Elles soulignent également son lien avec la pédagogie moderne, basée sur la science et centrée sur l'enfant. De plus, de nouvelles recherches en neurosciences appuient les idées avancées par Jaques-Dalcroze au début du XXe siècle, mettant en lumière l'interconnexion entre le corps et l'esprit dans la perception des émotions. Ces études montrent la richesse, la valeur éducative et la pertinence de la Rythmique Jaques-Dalcroze dans l'éducation musicale, soulignant qu'une méthode est jugée bonne non pas en raison de son ancienneté, mais de sa vivacité et de sa capacité à répondre aux besoins des individus.

Le concept Kodály a été sélectionné en 2016 comme patrimoine culturel im-

matériel de l'humanité par l'UNESCO [332]. Intégré aux programmes scolaires depuis 1945, il vise à rendre accessible la musique populaire traditionnelle à tous, à encourager sa pratique quotidienne, à la documenter et à la promouvoir à l'international. En plus, les principes de Kodály, Jaques-Dalcroze et Orff font partie des références principales pour la création du « Nouveau Système » d'éducation musicale en Chine [856]. Il continue à être l'objet de recherches pour améliorer les compétences auditives dans des contextes actuels [222], combiné avec d'autres méthodes pédagogiques [475] et avec les nouvelles technologies [192].

La méthode Martenot, ainsi que d'autres méthodes actives, fait également partie de l'évolution de l'enseignement de la musique dans les écoles publiques francophones du Québec ([348]). Cet enseignement était facultatif entre 1904 et 1936, avant de devenir obligatoire de 1937 à 1980. Initialement axé sur le chant à l'oreille, il a progressivement intégré des approches pédagogiques actives. Au Québec, depuis 1981, la musique est une option dans les arts, privilégiant l'expérimentation instrumentale et la créativité des élèves. La méthode Martenot et la méthode Willems ont fait l'objet d'études en Slovénie ([763, 729, 396]). Elles ont influencé l'enseignement de la musique, tout comme d'autres méthodes actives.

La méthode Orff de son côté a été adaptée à l'enseignement de la musique en Chine où elle a fait aussi l'objet d'une étude sur son efficacité, spécialement depuis 2012 [652, 677]. Une revue de littérature récente a examiné l'impact de l'instruction musicale basée sur la méthode Orff sur la compétence socio-émotionnelle des élèves du primaire [877]. Les résultats suggèrent que l'éducation musicale basée sur la méthode Orff influe positivement sur la régulation émotionnelle, l'empathie, les compétences sociales, l'estime de soi et l'expression de soi. Les idées de la méthode Orff [486] et de la méthode Suzuki [754], ont fait l'objet d'études visant à les intégrer à l'apprentissage assisté par le numérique.

Les méthodes actives ont également eu une influence sur la conception de l'objet musical et du solfège chez Pierre Schaeffer [688]. Schaeffer, qui menait un travail d'exploration et de recherche à travers la musique concrète, la musique acousmatique et la musique électroacoustique, avait créé un solfège du sonore qui correspondait à sa perspective dans laquelle l'auditeur était au centre de

l'expérience sonore. Pierre Schaeffer concevait le solfège comme un exercice d'écoute attentive, une méthode « expérimentale et réaliste » pour appréhender les sons. Il s'agissait pour lui d'explorer de nouveaux matériaux musicaux en s'affranchissant des idées préconçues et en se basant sur l'audition directe. A travers le solfège il voulait décrire des objets sonores y compris les objets hors de la production traditionnelle par les instruments musicaux. Pour lui, le solfège s'incarne sur cinq opérations de la recherche musicale : typologie, morphologie, caractérologie, analyse et synthèse. Son point de vue était exemplifié par sa description que la notation n'est pas un point de départ, mais un aboutissement.

### **1.3 Formation auditive et musicale actuelle dans le monde**

Les compétences auditives ont été principalement définies comme le solfège et la dictée musicale dans l'enseignement musical de premier cycle depuis le XIXe siècle. Cependant, ces méthodes ont été débattues presque dès leur conception. En 1936, Lowery [496] a exprimé ses préoccupations lorsqu'il a déclaré que l'enseignement de la musique devait traiter la musique dans son ensemble (lier les différents aspects de théorie et pratique aux œuvres et ainsi montrer leur caractéristiques interdépendantes) au lieu de se concentrer sur des caractéristiques isolées (des exercices purement centrés sur des aspects harmoniques, ou solfègiques par exemple). Quelques années plus tard, Drew [215] a écrit sur l'importance du développement de l'oreille interne en tant qu'outil permettant d'utiliser consciemment la musique, que ce soit en chantant ou en composant sans instrument. Drew a fait une analogie avec les archers pour qui il serait impossible de viser sans une conception visuelle claire de la cible. Selon lui, la formation musicale traditionnelle (spécialement dans le chant) tente de faire en sorte que le musicien joue de la musique sans une cible auditive claire.

En dépit de ces arguments, les manuels d'enseignement du XXe siècle avaient généralement une approche similaire à ceux du XIXe siècle. Ils présentaient des éléments musicaux isolés et donnaient des exemples composés de manière «

académique » par l'auteur. Ces manuels traitaient la dictée comme une fin en soi, et les exemples musicaux étaient le plus souvent enregistrés par un seul instrument [331]. Même si à la fin du XXe siècle, quelques propositions ont été faites dans les approches pour enseigner les compétences auditives, et une approche réductionniste était toujours la norme.

Les travaux de Robert Francès entre les années 1950 [262] et 1980 [263] ont marqué l'approche de l'enseignement musical en France à travers plusieurs axes. Tout d'abord, il a développé le concept d'acculturation tonale, soulignant l'impact de l'environnement musical sur la perception de la musique, ce qui a eu des répercussions sur les méthodes d'enseignement en mettant en avant l'importance des influences culturelles et environnementales. Ensuite, ses recherches sur la perception musicale ont mis en lumière l'importance de la structure mélodique et harmonique ainsi que des attentes de l'auditeur dans la compréhension de la musique, suggérant ainsi une adaptation des méthodes pédagogiques aux processus perceptifs des élèves. Enfin, Francès a élaboré une théorie de l'expression musicale distinguant les niveaux non-culturel et culturel de signification, soulignant ainsi la capacité de la musique à exprimer des émotions de manière à la fois universelle et spécifique à une culture donnée.

Pendant le XXe siècle, plusieurs enseignants et théoriciens ont contribué à la création de « méthodes actives » d'apprentissage de la musique (méthodes explorées plus en détail dans la section suivante) car ils considéraient que l'enseignement traditionnel était trop rigide et peu stimulant pour les élèves. Inspirés par des courants philosophiques de pédagogie active, des personnalités telles qu'Émile Jaques-Dalcroze, Carl Orff, Edgar Willems ou Maurice Martenot ont cherché une approche alternative aux méthodes d'enseignement utilisées dans les conservatoires. En France en 1977, l'influence des pédagogies actives a abouti à un changement de la matière du solfège en formation musicale, avec pour objectif d'amener une évolution des pratiques pédagogiques et une volonté de moderniser l'enseignement musical. Cette évolution visait à rendre l'apprentissage de la musique plus accessible, plus motivant et plus épanouissant pour les élèves.

A partir des années 1990, on a commencé à s'interroger sur la valeur et les objectifs de la formation auditive. Butler et Lochstampfor en 1993 [112] ont

reconnu que les livres de dictée avaient à peine changé et que les découvertes en psychologie musicale n'étaient pas suffisamment prises en compte. Frank Abrahams a écrit sur l'absence de pédagogie critique dans l'éducation musicale aux Etats-Unis jusqu'à la fin du XXe siècle[5].

Des études réalisées sur la formation auditive liée en 2000 [535] (McNeil en Angleterre) et 2011 [380] (Ilomäki en Finlande) ont suggéré qu'il n'y avait pas de consensus sur les objectifs, les valeurs ou la pédagogie de l'enseignement des compétences auditives.

### 1.3.1 La valeur de la formation auditive

La formation auditive est reconnue comme ayant de multiples avantages pour les étudiants en musique [405]. En termes généraux, cet enseignement est censé améliorer de nombreuses compétences musicales et, en général, fournir une « compréhension musicale » à l'élève. Les compétences cultivées par la formation auditive ont été liées au progrès dans la performance d'autres activités musicales. Des corrélations ont été trouvées entre la lecture à vue et jouer à l'oreille [499], entre la lecture à vue et l'improvisation [781], entre la dictée musicale, la performance du chant à vue et la capacité de composition[667], entre le chant, les compétences de répétition mentale, l'improvisation et la performance musicale [537], entre le chant à vue, la formation auditive et la détection d'erreurs de hauteur et du rythme. À cet égard, la formation auditive est précieuse pour améliorer la musicalité globale.

La dictée musicale est importante car elle favorise l'audition intérieure, l'écoute attentive et analytique, l'écoute extractive, la compréhension et la notation musicale [405]. Même si les musiciens entraînés et les non-musiciens (de la même culture) ont des réponses cérébrales similaires à la musique entendue [76], les compétences développées par la dictée rendraient explicites le processus d'apprentissage et la compréhension de la musique [563]. Cela augmenterait l'« écoute intelligente » et favoriserait l'expressivité et la créativité dans la performance musicale [846].

En général, la valeur du développement d'une bonne « oreille musicale » est considérée comme une clé pour améliorer tous les aspects de la musicalité

[847], même (ou surtout) pour les musiciens vernaculaires [848]. Le chant a été étudié comme ayant un impact sur la mémoire auditive, la performance avec l'instrument, la compréhension musicale et le développement de l'élève en tant que « musicien complet ». Un aspect essentiel de la formation auditive est qu'elle ramène la théorie musicale à un niveau pratique, ce qui favorise l'engagement [565].

Cependant, malgré les multiples avantages de la formation auditive, le transfert de ces compétences doit être actif. S'il n'y a pas de bonnes instructions pour transposer les capacités dans des applications musicales pratiques, les compétences acquises seraient inefficaces, voire sans intérêt pour l'étudiant en musique [380, 712].

### 1.3.2 Problèmes et suggestions pédagogiques dans la littérature scientifique

De nombreuses approches ont tenté d'améliorer la formation auditive en se basant sur des enquêtes et l'expérience des enseignants. En 1985, l'unité de recherche sur la perception musicale appliquée (RAMP) de l'école polytechnique de Huddersfield a constaté que les étudiants n'étaient pas satisfaits de la formation auditive et estimaient qu'elle n'était pas adaptée à la vie professionnelle réelle [647]. Suite à cette étude, les chercheurs ont conçu un nouveau cours qui comprenait la critique, l'improvisation, l'audition interne, l'improvisation et la pratique instrumentale. Ils ont essayé de créer un cours plus large qui serait plus significatif. Pratt et Henderson ont publié leurs conclusions et suggestions dans le livre *Aural Awareness* en 1998. Dans cet ouvrage, ils encouragent l'élève à prendre des initiatives et à se concentrer sur d'autres aspects que la hauteur et le rythme. Cependant, ils n'ont pas clairement établi la manière dont l'étudiant doit progresser, ainsi que les liens entre la psychologie musicale et la formation auditive [674].

En 1990, Brown a abordé le problème du faible développement et de l'acquisition des compétences auditives en incorporant des exercices de lecture à l'oreille et de chant dans différents styles [104].

En 1993, Anna Herbst a présenté une thèse qui comprenait une étude com-



parative de la formation auditive au niveau universitaire au Royaume-Uni, aux Etats-Unis, en Allemagne, en Afrique du Sud, à Taiwan, au Danemark et en Suisse [344]. Elle a mené une enquête auprès des professeurs de formation auditive, dans laquelle elle a conclu qu'il y avait un manque de consensus sur les buts et les objectifs du cours. Les résultats ont montré que l'accent était mis sur les exercices les plus « mesurables » et un manque d'intégration avec d'autres sujets du programme d'études musicales. Elle a proposé un certain nombre d'améliorations telles qu'un début précoce de l'éducation auditive (pendant l'enfance), un lien avec la pratique instrumentale, l'utilisation du répertoire pour les études auditives, la formation des professeurs de musique aux principes de la psychologie musicale, le développement d'une perception globale de la musique, plutôt que des exercices isolés, et l'ajout d'activités créatives telles que la composition ou l'improvisation.

Les propositions de Herbst sont en accord avec celles des autres auteurs étudiés [112, 165, 647]. Selon eux, le cours de formation auditive deviendrait plus pertinent s'il avait un lien avec la pratique instrumentale et d'autres matières de musique (ensemble, choir, harmonie, etc.) ainsi qu'avec le répertoire de l'élève. Covington et Lord ont également proposé l'élargissement de la conception de la formation auditive comme interdépendante d'autres matières de musique [166]. Ils ont examiné le modèle presque omniprésent d'acquisition des connaissances, ancré dans la théorie objectiviste, et ont souligné les limites de la formation effectuée par le biais de ce modèle. Comme alternative, ils ont proposé un modèle constructiviste (l'approche objectiviste met l'accent sur la transmission de connaissances préexistantes, tandis que l'approche constructiviste met l'accent sur la construction active de connaissances par l'élève).

Klonoski, en 1998, a affirmé que les étudiants devraient travailler explicitement sur l'internalisation de la hauteur tonale ou sur l'écoute de « l'oreille de l'esprit » [430]. Hedges a également soutenu les problèmes de non-pertinence, d'inefficacité et de manque de valeur de l'évaluation de la dictée dans l'état quelle était proposée aux Etats-Unis et au Royaume-Uni [339].

Musumeci, en 2000, affirme que l'objectif de la formation auditive est d'établir un lien entre les connaissances musicales préexistantes et les connaissances formelles (notation musicale) [570]. La même année, Buehrer a développé l'idée

de travailler avec des contextes musicaux authentiques, en utilisant l'improvisation et en considérant la coopération comme faisant partie de l'apprentissage [107]. Des exercices d'écoute coopératifs ont également été étudiés par Smialek et Boburka (2006) chez des étudiants qui n'étaient pas des étudiants en musique, et se sont avérés plus efficaces que les cours magistraux [733]. Les exercices consistaient à décrire les caractéristiques musicales de différents styles de musique. Il en résulte un raisonnement de plus haut niveau, un ajustement psychologique plus sain et un transfert d'apprentissage plus important.

Karpinski, dans sa publication *Lessons from the Past : Music Theory, Pedagogy and the Future*, souligne une incohérence entre l'approche traditionnelle de la théorie musicale et celle de la formation auditive par rapport à la perception et cognition musicale. Tandis que la théorie musicale commence par établir des concepts abstraits, les théories cognitives de l'audition suggèrent que notre perception musicale se construit de manière plus intuitive, en partant de caractéristiques globales (texture, timbre, etc.) avant de s'attarder sur des détails plus fins. Cette divergence a des implications importantes pour la pédagogie musicale. L'auteur plaide ainsi pour une collaboration plus étroite entre la formation auditive et la psychologie musicale. Pour illustrer son propos, Karpinski a développé des outils pédagogiques innovants, tels qu'un manuel [407] et son anthologie de chants à vue [404], qui privilégient l'utilisation de 'vraie musique' et proposent des exercices progressifs favorisant une perception globale puis analytique. Il insiste également sur l'importance du dialogue et de la réflexion personnelle pour développer les compétences auditives des étudiants.

En 2000, Alison McNeil a mené une étude empirique évaluant la corrélation entre les notes des compétences auditives et celles de la performance, des arpegges, des gammes et de la lecture [535]. L'auteur a suggéré que les compétences auditives n'évoquent pas nécessairement les compétences auditives pertinentes utilisées dans les performances et les situations de la vie réelle. Une partie de l'étude a révélé que les étudiants auraient une attitude négative envers les tests auditifs, tout en montrant un intérêt pour l'acquisition de l'imagination auditive et de l'écoute active-réflexive (ajuster sa performance par l'écoute). Elle a remis en question la séparation entre la formation auditive et les autres pratiques musicales, ainsi que l'accent mis sur le piano et le chant. Elle a suggéré de repenser

le mode d'évaluation en incluant l'instrument de musique et d'incorporer des notions d'imagerie auditive (aussi appelé l'audition intérieure). Cette méthode utilise également une composante de la cognition incarnée, sans laquelle le développement des compétences auditives n'est pas pertinent pour la performance instrumentale.

Même s'il existe une vaste documentation sur la recherche en éducation musicale en France [548], la recherche dans ce domaine a connu une reconnaissance et un public plus larges depuis la création du Journal de Recherche en Éducation Musicale. C'est avec la création du journal en 2002 que ce domaine a connu un essor significatif et une reconnaissance accrue au niveau national et international. Fondée par Jean-Pierre Mialaret, cette revue a pour ambition de favoriser les échanges entre chercheurs, enseignants et formateurs en publiant des travaux à la croisée des sciences de l'éducation musicale, de la didactique et de la musicologie. Son objectif est double : diffuser les résultats de la recherche et stimuler la réflexion sur les pratiques pédagogiques en musique. Ce journal consacre deux numéros par an à l'analyse des pratiques pédagogiques en musique. Articles comme « Le rapport au savoir dans le déchiffrage pianistique, regard sur les erreurs de lecture » de Dubost [217], « Apprendre les structures psychologiques ou favoriser leur construction? Elements de réponse de la psychologie de la musique » de Miroudot [551], ou « Le langage qui explicite la musique : une stratégie pour l'apprentissage de la notation des mélodies » de Segalerba [511], sont le témoignage du grand nombre des questionnements des chercheurs en France autour des pratiques traditionnelles d'enseignement.

En relation avec l'idée d'un apprentissage incarné et de méthodes alternatives de formation auditive, Dos Santos et Del Ben (2004) ont suggéré que le solfège soit couplé à des activités instrumentales (spécialement l'improvisation) qui seraient censées développer l'imagerie auditive [213]. En 2010, Bannan a conçu une méthode qui utilise des mouvements pour enseigner la musique vocale [54]. Il n'a pas utilisé d'instructions verbales sur les fonctions harmoniques et il a appuyé le développement de la « conscience auditive » uniquement sur la création d'une connexion entre les mouvements et les sons. Dans une direction opposée, Humphries a développé en 2008 une méthode pour améliorer les relations auditives perçues en fournissant des explications verbales [376].

En 2005, Scandrett a proposé dans sa thèse de doctorat un « enseignement assisté par ordinateur » dans lequel il demandait aux élèves de décrire des sons musicaux avec des mots non musicaux sur une carte conceptuelle [687]. Selon l'auteur, cela permettait un programme d'apprentissage plus engageant. L'auteur a suggéré l'avantage d'utiliser la vision et le son et de s'éloigner de la formation auditive « atomistique ». Son idée était d'enrichir et de personnaliser l'enseignement. Cependant, Scandrett n'a pas essayé d'adapter la formation auditive à d'autres activités musicales, mais plutôt de promouvoir une expérience améliorée lors de l'écoute de la musique et de la conceptualisation des concepts auditifs.

Inger Reitan a publié en 2009 un article sur une étude de la pertinence de la formation auditive chez les étudiants de l'Académie norvégienne de musique [657]. Bien qu'elle ait constaté que les étudiants réagissaient pour la plupart positivement à la formation auditive, elle a déclaré qu'il était nécessaire d'accroître le lien entre la formation auditive et la pratique instrumentale. Elle a insisté pour que l'on se concentre davantage sur l'imagerie auditive, pour une meilleure collaboration entre les matières académiques et pour l'incorporation d'instruments afin d'améliorer le transfert des compétences.

En plus du concept d'incarnation dans la formation auditive, Ran Blake a soutenu que les aspects visuels et physiques de la création musicale à un stade précoce interféreraient avec les mécanismes émotionnels dans le processus de création de la personnalité musicale [81]. Son idée, basée sur le phénomène du « troisième courant » (*third streaming*), est étroitement liée au développement de l'audition intérieure et de l'imagination auditive. Son argument était que la connexion entre les sons musicaux et la notation musicale ne favorise pas l'imagination auditive.

Ilomaki en 2011 [380], en relation avec la formation auditive pour les étudiants en piano a soutenu les avantages de la connexion avec l'instrument. Elle a poursuivi en critiquant la décontextualisation de l'instruction auditive par rapport aux circonstances sociales et artistiques dans lesquelles ces compétences seront normalement utilisées. Elle a souligné que l'accent mis sur les connaissances symboliques et les activités de reproduction ne serait pas bénéfique pour traduire les connexions auditives en connexions physiques. En réponse à ces

questions, elle a conçu un programme de deux ans. L'un des éléments particuliers était l'utilisation de questionnaires et de journaux d'apprentissage. Elle a combiné le chant à vue, la dictée et des fragments du répertoire de piano de l'élève. Le programme comprenait l'étude en binôme ou en groupe, l'improvisation et le jeu à l'oreille. Malgré ces efforts, l'auteur a reconnu que les attitudes de la formation auditive traditionnelle apparaîtraient habituellement en raison de sa familiarité pour les élèves et l'enseignant. Cependant, elle a proposé qu'une approche basée sur les instruments, qui inclurait les connaissances musicales implicites et explicites des élèves, les associations émotionnelles et les activités musicales quotidiennes, inciterait les élèves à développer des compétences auditives. Les compétences auditives devraient établir un lien entre la créativité musicale et la notation comme expression de cette dernière. Ilomaki a ajouté dans un cours ultérieur [287] plus de liberté et d'encouragement à l'étudiant dans la conception de leur propre apprentissage comme la création de leurs propres devoirs et le choix entre différentes tâches.

En 2016, Wright [850] a écrit sur le terme *aural* dans la littérature anglophone, en étudiant la perception des « compétences auditives », des « capacités auditives » et de la « formation auditive » (*aural skills, aural ability, aural training*). Il a conclu après quatre études expérimentales que toute carrière et formation impliquant la musique devrait inclure le développement des compétences auditives. Il a suggéré de réduire l'importance de la notation, d'utiliser la technologie, d'inclure l'improvisation et d'augmenter les références à la musique familière pour l'élève.

### 1.3.3 La problématique de la formation auditive

Les caractéristiques traditionnelles de la formation auditive sont perçues comme les plus grandes difficultés. Cela signifie que l'accent est mis sur la hauteur et le rythme et que l'approche est atomistique et décontextualisée. D'autres aspects problématiques sont le manque d'instruction sur l'imagerie auditive, l'accent mis sur les activités de reproduction, la séparation de la formation à la connaissance physique incarnée, l'accent mis sur la connaissance explicite testable et le manque de préparation des enseignants sur les principes psychologiques et de cognition musicale. Toutes les études, sauf une, ont fait état d'une

attitude négative à l'égard de la formation auditive et de sa valeur dans des situations réelles.

### **1.3.4 Suggestions d'amélioration de la formation auditive dans la littérature**

La suggestion qui est souvent faite est l'élargissement du contenu au timbre, à la structure, à l'espacement, à la dynamique et à l'accord. Les auteurs suggèrent de travailler avec des exemples détaillés et réels au lieu d'isoler des éléments musicaux. Un autre point important est l'utilisation de l'imagerie musicale et de la mémoire musicale au lieu de s'appuyer uniquement sur des sources sonores externes. Le jugement critique et la capacité à discuter de différentes interprétations sont considérés comme importants, tout comme le fait de juger les choix du compositeur et de l'interprète.

Les auteurs montrent l'intérêt d'utiliser du matériel pertinent tel que le répertoire de l'élève. Pratt [648] et McNeil [535] proposent qu'en partant d'un exemple musical réel, les éléments puissent être séparés en petites sections pour une étude séparée. Cette étude doit finalement être replacée dans le contexte principal pour comprendre son rôle.

Des auteurs suggèrent également l'utilisation d'instruments pour inclure une expression physique de la musique, utiliser les connaissances implicites et assurer un meilleur transfert de l'apprentissage [213, 344, 380, 535, 648]. L'ajout d'instruments permettrait également d'improviser et de jouer « à l'oreille ». Ils ont souvent suggéré une collaboration plus étroite avec les autres matières du cursus, le travail en groupe, et la liberté laissée à l'élève de développer son propre parcours de progression.

Dans la littérature examinée, on s'inquiète également du manque de collaboration entre la psychologie musicale et la formation auditive. Un enseignant ayant des connaissances sur la cognition musicale pourrait présenter le matériel d'étude une manière plus efficace et mémorable pour l'élève.

## 1.4 Apprentissage auditif en France

Dans cette section, nous allons explorer l'apprentissage auditif en France dans le contexte du conservatoire et de l'université (qui est en lien à la formation en musicologie). Nous allons analyser l'approche et l'opinion par rapport à ce sujet par la part d'enseignants de conservatoire et d'enseignants de la matière de « Culture de l'écoute » de Sorbonne Université, matière qui s'occupe d'apprentissages auditifs. Nous allons présenter les résultats d'une enquête de 2021 et 2023, fait auprès d'étudiants de la même institution, qui interrogeait leurs attitudes vers la matière.

### 1.4.1 Apprentissage auditif en conservatoire

Le Conservatoire de Paris a vu le jour grâce à la fusion de deux institutions distinctes : l'école royale de chant et de déclamation, fondée le 3 janvier 1783 pour servir les besoins de l'Opéra, et l'école de musique municipale, créée en 1792 dans le but de former les instrumentistes de la Musique de la Garde nationale, dirigée par Bernard Sarrette en 1790 [577]. L'officialisation de l'école municipale a eu lieu le 8 novembre 1793, lorsque la Convention nationale a décrété la création de l'Institut national de musique « dans la Commune de Paris » [569].

La création du Conservatoire a eu un retentissement sur l'ensemble de la vie musicale française du point de vue pédagogique et artistique [660]. La création du Conservatoire de Paris a conduit à la publication d'une série d'ouvrages, les « méthodes » du Conservatoire pour la lecture à vue instrumentale et vocale (disponibles sur Gallica [327] et NEUMA [385]).

Les méthodes créées par le Conservatoire ont eu le but d'uniformiser l'enseignement au sein de l'institution. Ils répondent pour la plupart à un schéma pédagogique commun où une section théorique est suivie par des exercices techniques et par des extraits du répertoire. L'existence du Conservatoire a également exercé une influence sur la conception de ce qu'est la musique puisqu'il segmente l'apprentissage de la musique en différentes disciplines en organisant intellectuellement. Il a contribué à la naissance des disciplines musicales qui ont

gagné progressivement en autonomie jusqu'à se voir attribuer un professeur et un enseignement dédié.

Le code de l'éducation actuel reconnaît trois types de conservatoires qui s'occupent de l'enseignement initial, les conservatoires à rayonnement régional (CRR), les conservatoires à rayonnement départemental (CRD), et les conservatoires à rayonnement communal ou intercommunal (CRC). Ce classement prend en compte, la nature et le niveau des enseignements dispensés, les qualifications du personnel enseignant et la participation de l'établissement à l'action éducative et culturelle locale [1]. Pour l'enseignement supérieur, il existe en France deux conservatoires nationaux supérieurs, le Conservatoire National Supérieur de Musique et de Danse de Lyon, et le Conservatoire National Supérieur de Musique et de Danse de Paris. Ces établissements proposent un cycle supérieur de formation musicale destiné à celles et ceux qui veulent enseigner cette discipline [152].

### **Du solfège vers la formation musicale**

Dans les années 1970, le solfège a été critiqué, en particulier par les partisans des méthodes dites « actives ». Ils ont remis en question l'approche traditionnelle du solfège, qui mettait l'accent sur l'apprentissage des notations musicales en premier, au lieu de partir de l'expérience musicale, des sensations auditives et corporelles, pour comprendre le langage musical [462]. Ils préconisent de ressentir et vivre la musique avant de chercher à la comprendre, plutôt que de se lancer dans une analyse abstraite à partir de symboles musicaux. La priorité était ainsi donnée à l'émotion et à la sensation musicale, plutôt qu'à la lecture des notes.

En 1977, une réforme majeure du solfège a été entreprise par la Direction de la musique à Paris [179]. Cette réforme visait à équilibrer les approches traditionnelles du solfège, jugées obsolètes, avec les méthodes dites « actives », considérées comme trop axées sur l'aspect ludique. Le résultat a été le remplacement du terme « solfège » par « formation musicale » pour éliminer la connotation négative du mot « solfège ». Cependant, cette nouvelle dénomination n'a pas été largement adoptée, et le terme « solfège » est resté couramment



utilisé, même quarante ans plus tard [422].

Cette réforme visait également à réintroduire la musique dans l'enseignement du solfège et à décloisonner cette matière. En plus de considérations pédagogiques, des enjeux politiques étaient en jeu, notamment l'amélioration du niveau culturel des élèves et la nécessité de former des amateurs de musique classique pour élargir le public. Finalement, cette réforme avait aussi une dimension pratique, car la notation musicale enseignée jusqu'alors ne répondait plus aux besoins de la musique contemporaine (la majeure partie des œuvres de musique contemporaine de l'époque est écrite en notation solfégique [810]) (c'est surtout dans les années 1950 que des expériences de notation alternative ont été réalisées : notation proportionnelle, notation gestuelle, partition graphique...), du jazz, et d'autres formes musicales, remettant en question la prétendue immuabilité de la notation musicale traditionnelle.

La réforme du solfège ne remet pas en question les aspects théoriques ni la structure disciplinaire des cours de musique. L'élément central du changement réside dans le matériel pédagogique utilisé pour les exercices, qui doivent désormais s'appuyer sur des extraits d'œuvres musicales du répertoire. L'objectif est de partir de la musique elle-même pour comprendre son langage et ses techniques.

La réforme du solfège cherche à réintégrer la musique dans son enseignement, en mettant l'accent sur des lectures rythmiques et chantées qui intègrent des éléments tels que la dynamique, les articulations, les accents et les nuances. De plus, elle favorise l'ouverture aux pratiques non écrites, à l'improvisation, et à la relation avec l'instrument. Néanmoins, certains éléments de l'ancien système demeurent, comme l'importance du cours d'instrument et la répartition en exercices sans lien logique. La réforme cherche à intégrer le solfège dans des contextes musicaux, mais l'approche pédagogique mise en œuvre est également cruciale. La préoccupation principale réside dans l'équilibre entre partir de la musique directement et éviter de créer un enseignement excessivement académique [462].

### Entretiens d'enseignants au conservatoire

Afin de contextualiser les apprentissages auditifs au conservatoire, des entretiens ont été menés avec des enseignants en formation musicale (FM). Les trois participants à ces entretiens possèdent une expérience d'enseignement diversifiée, couvrant différentes tranches d'âge. Leurs parcours respectifs sont hétérogènes, et leur approche de la FM est également personnelle. Ces intervenants ont formulé leurs opinions concernant les défis rencontrés dans le cadre de l'enseignement, le matériel d'étude et leurs stratégies pour assurer le progrès des étudiants.

L'intégralité d'entretiens est disponible dans le lien suivant : [https://drive.google.com/drive/folders/1m2vkH\\_QR5bjYsbf7j7dSwiCwqLwpcSnh?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1m2vkH_QR5bjYsbf7j7dSwiCwqLwpcSnh?usp=sharing)

**Parcours de l'enseignant** L'ENSEIGNANT DE CONSERVATOIRE 1 (EC1) est titulaire du Diplôme d'État de professeur de formation musicale et, en tant qu'enseignant, il a collaboré avec divers établissements publics et privés, dont le Conservatoire américain de Paris, le Conservatoire à Rayonnement Régional d'Aubervilliers-La Courneuve et la Cité de la Musique de Marseille. Il a commencé à jouer de la guitare en autodidacte à l'âge de 12 ans, dans diverses formations de musiques actuelles. Il se rapproche ensuite du jazz et intègre le conservatoire. Il continue à se produire en tant que musicien. Concernant l'âge des élèves, le professeur mentionne un large éventail, de jeunes de 6 ans à des adultes de 65 ans. Bien que la même progression soit requise pour tous, il reconnaît qu'adapter son enseignement en fonction de l'âge est nécessaire. Il explique que les faiblesses musicales peuvent devenir plus difficiles à corriger avec l'âge et souligne les défis spécifiques rencontrés par les adultes, notamment la difficulté à maintenir la pulsation rythmique.

L'ENSEIGNANT DE CONSERVATOIRE 2 (EC2) travaille à Tours, et il a un parcours diversifié, ayant également enseigné à Rouen et à Nancy. En tant qu'organiste, il a établi des liens avec l'enseignement instrumental, tout en se spécialisant rapidement dans la FM dès le début de sa carrière en raison de sa passion pour ce domaine. Son expérience s'étend à l'université de Rouen, où son recrutement initial pour l'harmonisation à vue et l'harmonisation clavier a

évolué vers une intervention significative dans la formation de l'oreille pendant 7 à 8 ans, entre 2000 à 2010. Il a également consacré environ cinq ans à un pôle supérieur, assumant le rôle de directeur adjoint à Metz. Son implication dans ce contexte était particulièrement axée sur la formation des futurs professeurs de formation musicale, soulignant l'importance des sujets numériques. Dans cette période, de 2013 à 2018, le pôle supérieur a organisé des événements majeurs sur le numérique, montrant son engagement et son expérience dans ce domaine. En outre, il évoque son engagement au sein de l'Association des Professeurs de Formation Musicale (APFM), qui organise annuellement un congrès dédié à la réflexion de la pédagogie. En 2020, compte tenu des contraintes liées à la pandémie, il s'est déroulé à distance, mettant l'accent sur le numérique avec la participation d'intervenants spécialisés.

L'ENSEIGNANT DE CONSERVATOIRE 3 (EC3), au départ pianiste, a débuté son enseignement en piano à l'âge de 19 ans. Cependant, il a rapidement ressenti un certain ennui, attribuable en partie à la variabilité de l'investissement des élèves, certains cours étant plus difficiles que d'autres. Le tournant dans sa carrière s'est présenté lorsqu'il a eu l'occasion de donner des cours collectifs, initialement axés sur la formation musicale traditionnelle et le solfège. Il a également dispensé des cours d'histoire de la musique et de préparation à l'option musique du baccalauréat, travaillant avec des groupes d'élèves. Cette dynamique de groupe a été un élément clé de son attrait pour l'enseignement. La formation musicale s'est peu à peu imposée dans son parcours, remplaçant l'idée initiale d'enseigner l'analyse ou l'histoire de la musique. Concernant les diplômes, il mentionne le Diplôme d'État (bac+3) et le Certificat d'Aptitude (bac+5). Il souligne la rareté des examens et la nécessité de réussir du premier coup, avec parfois des années d'attente entre les sessions.

**Difficultés identifiées chez les élèves** Le EC1 identifie le manque d'intellectualisation et d'analyse critique dans l'approche de l'écoute musicale des élèves, contrairement à d'autres aspects de l'éducation musicale, tels que la coordination motrice, où les élèves réfléchissent activement à leurs actions. Selon lui, les élèves « ils pensent que c'est quelque chose d'un peu miraculeux et que ça peut pas se travailler », attribuant cette capacité à des individus dotés d'une oreille

absolue. Cette perception passive de l'écoute musicale limite leur engagement intellectuel dans le processus. Pour remédier à cette lacune, l'enseignant met en œuvre des exercices visant à sensibiliser les élèves à ces aspects. Il encourage les élèves à réécouter une mélodie, à la rechanter pour s'appropriier ses nuances, et à l'analyser de manière critique. En utilisant des repères tels que les gammes, les arpèges, et les toniques, les élèves sont incités à développer une compréhension plus approfondie de la musique tonale.

L'entretien avec le EC1 met en lumière une problématique fréquemment rencontrée dans l'apprentissage musical, où certains élèves peuvent exceller dans la partie pratique, en reconnaissant les éléments musicaux, mais éprouvent des difficultés à conceptualiser ces connaissances. L'enseignant explique que chaque élève a tendance à exploiter ses points forts pour compenser ses faiblesses, il dit : « Et même quand tu entends des choses, tu vas te baser sur l'instrument. Tu imagines que tu joues ça ». Les élèves ayant une expertise instrumentale s'appuient sur leur technique. Il souligne l'influence de la mémoire musculaire et physique dans la reconnaissance des motifs musicaux, notant que les réflexes développés à l'instrument facilitent l'identification de gammes et intervalles. Le EC1 souligne également que les instruments produisant des harmoniques plus prononcés ont généralement un avantage. Il attribue un autre avantage, au moins dans les premiers niveaux, à la mécanique relativement simple du piano ou d'instruments de percussion.

Le EC2 souligne la difficulté de l'enseignement de la formation musicale en raison des différences de niveaux des élèves. En effet, certains élèves arrivent avec une formation musicale solide, tandis que d'autres n'ont aucune connaissance du solfège ou de la théorie musicale. Cette disparité de niveaux peut rendre difficile la progression des élèves et la mise en place d'une pédagogie adaptée à tous. Le EC2 insiste pareillement sur l'importance de la tonalité dans la formation musicale. En effet, la tonalité est un cadre qui permet aux élèves de comprendre et de mémoriser les mélodies et les harmonies. L'enseignant recommande de commencer par familiariser les élèves avec les différentes tonalités, puis de leur apprendre à identifier les notes et les intervalles dans une tonalité donnée. Il donne un exemple : « si je leur fais déchiffrer quelque chose en mi bémol majeur, et qu'ils sont persuadés qu'on est en mi mineur, la mélodie n'est pas du tout la

même et ça les dérange pas. Donc il y a quand même d'abord une installation dans une tonalité et puis après il y a le fait de deux justement revenir à la tonique comme base. »

Les défis majeurs évoqués par le EC3 en tant qu'enseignant de FM sont la motivation des élèves, la nécessité de se former indépendamment en l'absence de programmes dédiés à l'époque, et la difficulté au début pour se former lui-même en tant qu'enseignant car quand il a commencé il n'y avait pas de formation pour ce cours. Il reconnaît que l'utilisation du répertoire demande une réflexion approfondie de la part de l'enseignant, car ce dernier doit sélectionner des pièces adaptées au travail solfégique. Il mentionne des défis potentiels, tels que des phrases trop longues ou des problèmes de tessiture, qui nécessitent parfois une adaptation des exercices. Malgré ces défis, il insiste sur l'énorme plus-value du répertoire musical dans l'enseignement, soulignant notamment son impact sur la motivation des élèves.

**Les difficultés de l'enseignement au conservatoire** Lors de l'entretien, le EC1 aborde le manque de communication entre les enseignants de différentes matières dans le conservatoire. Il explique qu'un projet de création a été initié pour retenir les élèves plus âgés, mais constate que cela reste principalement rhétorique, avec des réunions non productives et des professeurs de création peu présents. Le professeur enseigne la création à ses élèves, mais les efforts collaboratifs sont limités. Il souligne la brièveté des cours d'instrument en France, d'une durée de demi-heure, ce qui entrave la possibilité d'approfondir les détails. Il exprime son désaccord avec cette approche technique des cours d'instrument, préférant des séances plus longues pour permettre une meilleure compréhension des concepts musicaux. Il partage sa vision d'une répartition équitable du temps entre les cours d'instrument et de formation musicale.

**La méthode pédagogique** Dans l'entretien avec le EC1, il aborde divers aspects de l'éducation musicale, en mettant en évidence les défis actuels. Il souligne la division persistante (dans l'enseignement musical) entre la musique savante et d'autres genres, tout en critiquant l'importance excessive accordée à l'harmonie occidentale en dépit d'autres éléments musicaux. L'enseignant s'inquiète du

manque de passion des élèves pour la musique et explore des moyens de susciter leur intérêt en proposant des approches plus diversifiées, y compris l'utilisation de musique populaire.

Les trois professeurs discutent également de la nécessité de transcender la dichotomie entre le ludique et le sérieux dans l'éducation musicale. Le EC1 partage ses expériences sur la motivation des élèves en proposant des écoutes variées et en créant un environnement d'apprentissage musical engageant. Il explique que la musique classique est souvent perçue comme élitiste et inaccessible au grand public. Il affirme : « je pousse les choses un peu loin, mais même utiliser un peu de bandes rock, la musique trap, pour les rapprocher à la musique, c'est OK. Il y a des tierces mineures dans cette musique-là aussi. Et après, ils vont se rendre compte tout seuls que les harmonies de Mozart sont plus sophistiquées que les harmonies d'Hendrix, AC/DC, etc. C'est pas grave, c'est de la musique plus légère, mais quand même, c'est de la musique, et s'ils y accrochent, après, ils ne partiront plus ». Selon lui, la motivation de l'élève est présente s'il arrive à s'identifier avec l'objet de l'étude, car même si on change de style dans la musique occidentale, la plupart d'éléments musicaux vont pouvoir être utilisés dans des musiques plus complexes. Il encourage les élèves à étudier et à jouer surtout la musique qu'ils aiment.

L'idée de rendre l'apprentissage ludique est abordée, mais l'enseignant EC1 souligne la nécessité de ne pas perdre de vue la rigueur et le sérieux nécessaires pour maîtriser la musique. De manière similaire au EC3, il explique que pour lui la motivation est essentielle, mais elle doit venir de l'expérience de la musique, elle-même. Le EC1 explique que dans son processus il demande que les élèves ils jouent la musique qu'ils aiment : « on l'écoute, on l'écoute sans l'intellectualiser forcément, c'est surtout important de ne pas le faire tout de suite. Donc, juste laisser passer le morceau, laissez passer le morceau. Moi, j'essaie de me décharger le plus possible de la figure du prof, tu vois, mais plutôt de guide dans le monde de la musique. Et après, on profite du même morceau. Parfois, c'est des choses très, très moches, mais bon, ça, c'est autre chose. On profite du même morceau pour le voir de façon un peu plus musicale, et donc, par exemple, pour voir un peu la forme, on essaie de comprendre harmoniquement dans quel contexte il est. C'est de comprendre le style. » Le EC1 essaye de montrer aux élèves que

toute musique peut être étudié, et que ce ne pas juste la musique des grandes salles de concert ou celle « jouée à la Philharmonie » celle qui mérite être analysé.

Une réflexion est également menée sur le rôle de la compétition dans l'apprentissage musical, avec le EC1 exprimant des réserves quant à son impact réel. Il met en avant l'idée d'une approche horizontale, encourageant la coopération et la formation de groupes musicaux pour créer un environnement moins rigide et plus propice à l'engagement des étudiants.

Le EC1 souligne son approche pédagogique consistant à encourager les étudiants à improviser, soulignant que cette pratique offre une compréhension approfondie des éléments musicaux, tels que le chiffrage des accords et les cadences. Il affirme que le travail « c'est important parce que, en improvisant, tu manipules les éléments de la musique. Et donc, en fait, toutes ces choses dont on parle en analyse quand je leur apprends le chiffrage des accords, les cadences, c'est tout ça, c'est toi qui va les faire. C'est toi qui va jouer la sensible qui monte à la tonique, c'est toi qui va jouer la sous-dominante qui descend dans la médiate » Il envisage même la possibilité d'intégrer cette pratique dans des logiciels éducatifs. L'idée de créer des compositions à travers l'improvisation est également discutée, avec le professeur expliquant comment il guide les étudiants dans l'exploration de divers degrés et progressions harmoniques. Il insiste sur le fait que cette approche n'est pas spécifiquement liée au jazz, mais plutôt à une exploration musicale plus large. Il note que les étudiants doivent être encouragés à « faire des bêtises » pendant l'improvisation, ce qui représente un défi pour ceux habitués à jouer dans des contextes plus structurés. L'utilisation d'instruments pour l'improvisation est également évoquée, le professeur expliquant comment il guide les étudiants dans la pratique des gammes en fonction des mouvements harmoniques spécifiques. Cette approche, influencée par des enseignements jazz, est présentée comme un moyen de développer l'oreille musicale et d'encourager la création musicale individuelle.

L'enseignant de formation musicale EC2 mentionne une méthode appelée « Ma boîte à musiques » d'Elsa Grabowski [308], qu'il trouve très efficace. Il souligne la possibilité pour les parents et les enfants de télécharger les accompagnements musicaux et évoque l'émergence de méthodes proposant des playlists, offrant ainsi un accès simplifié à des enregistrements musicaux. En ce qui

concerne le travail “pur” de l’oreille, l’enseignant recommande des approches traditionnelles pour le développement de l’oreille musicale. Il suggère de chanter avec le nom des notes tout en s’accompagnant, de pratiquer le déchiffre vocal avec des partitions envoyées aux élèves, et de travailler sur la transposition de mélodies familières. Il explique par exemple : « je leur envoie un petit Schubert, je leur dis, toute les quatre mesures vous vous donnez une note, et vous vérifiez au bout des quatre mesures que vous êtes bien arrivés sur cette note-là. Si ça va pas, vous vous en donnez une toutes les deux mesures. Je déchiffre à cappella en me donnant des repères. »

### 1.4.2 Apprentissage auditif à l’université

Au XIIIe siècle, les premières universités françaises, telles que Paris, Montpellier et Toulouse, incluent la musique dans la faculté des arts, formant un cursus avec le trivium et le quadrivium [284]. Cependant, la musique perd de son prestige au fil du temps, jusqu’à sa disparition à la Renaissance. La Révolution française conduisit à la suppression des universités héritées de l’Ancien Régime en 1793, mais Napoléon établit une nouvelle Université impériale quelques années plus tard. La musicologie refit progressivement surface en Université par l’intermédiaire de conférences en 1895 à la Sorbonne, puis au Collège de France et à l’Ecole des Hautes Etudes. La Sorbonne joua un rôle clé dans l’établissement de la légitimité de la musicologie en France. Romain Rolland, suivi de Louis Laloy et André Pirro, introduisit l’étude de la musique dans cette institution. Paul-Marie Masson, nommé maître de conférences en 1933, contribue à la création de l’Institut de Musicologie en 1951. L’UFR de musicologie est créée en 1970 et met en place un cursus jusqu’en maîtrise. A la même époque, dans d’autres universités des départements de musicologie sont créés.

A différence d’autres pays, en France l’université ne forme pas des artistes. Elle propose dès la licence des parcours d’études préparant aux métiers de l’enseignement, de la recherche, de l’administration et de la gestion de la musique [595].

L’enseignement supérieur à l’université est organisé selon le schéma LMD issu du processus d’harmonisation des systèmes d’enseignement supérieur européens.



Il reconnaît trois niveaux de diplôme : licence - en anglais *bachelor* - (bac + 3), master (bac + 5) et doctorat (bac + 8). Les cursus sont organisés en semestres (S1, S2...) constitués d'unités d'enseignement (UE). Leur validation permet l'acquisition de crédits, les ECTS (acronyme de *European Credit Transfer System*). Capitalisables et transférables, ces crédits permettent la mobilité en Europe, la reconnaissance et l'équivalence des diplômes universitaires [611].

Les cours à l'université englobent divers domaines, notamment l'histoire de la musique (comportant les mouvements, les styles et les compositeurs), l'esthétique musicale ainsi que l'analyse musicale, qui implique la lecture de partitions et l'étude de la structure d'une composition, y compris ses mouvements. Les programmes comprennent également l'étude des musiques du monde et l'exploration des liens entre la musique et les sociétés, dans le cadre de l'ethnomusicologie, ainsi que l'examen des institutions musicales. Les étudiants reçoivent une formation complète couvrant l'écoute musicale, la composition (harmonie, contrepoint), ainsi que la pratique d'instruments (notamment le piano) et le chant. Dans certaines universités, cette pratique peut être intensive grâce à des partenariats avec des conservatoires de musique. En troisième année (L3), les étudiants ont la possibilité de choisir des spécialisations en fonction de leurs aspirations professionnelles. Ces spécialisations comprennent des options telles que l'enseignement, le jazz et les cultures musicales, la musique et les arts du spectacle, la musique et la technologie numérique, ainsi que la formation de musiciens interprètes, selon les offres propres à chaque université. Pour les étudiants qui ambitionnent une carrière d'artiste interprète, il est recommandé de suivre en parallèle de leur licence une formation complémentaire dans un conservatoire ou une école de musique [595].

### **Sorbonne Université**

Sorbonne Université à Paris est l'université avec la plus longue expérience dans l'enseignement de la musicologie au niveau universitaire. En raison de cette situation, de sa localisation et de ses ressources, l'UFR de Musique et Musicologie de la Faculté des Lettres de Sorbonne Université compte la plus grande population d'étudiants en musicologie de France. Au cours de la licence,

les étudiants reçoivent un cours hebdomadaire de deux heures intitulé « Culture de l'écoute », focalisé sur la formation de l'oreille ainsi qu'un cours d'analyse musicale et tous les deux suivent le développement de l'histoire de la musique. En outre, il existe un cours de « mise au niveau » pour les étudiants de première année dont le niveau est inférieur à la moyenne.

L'université propose plusieurs parcours des licences, des masters et des doctorats en musicologie. De plus, de nombreux étudiants du Conservatoire national supérieur de musique et de danse de Paris sont également étudiants de l'UFR, ce qui rend la population d'intérêt particulier pour l'étude.

Il y a environ 800 étudiants au niveau de licence et de master. L'UFR de Musique et Musicologie propose quatre licences, deux doubles licences et huit masters [798], ce qui attire une grande diversité d'étudiants issus d'horizons différents. L'offre académique s'étend de la recherche jusqu'à la médiation, la direction, la préparation à l'enseignement de la musique, parmi d'autres.

### **Entretiens d'enseignants d'université**

Pour faire contraste avec l'approche et le ressenti des enseignants de conservatoire, quatre personnes ayant enseigné la matière « Culture de l'écoute » à Sorbonne Université ont été interviewées. Cette matière est dédiée à la formation auditive, c'est-à-dire à la reconnaissance et à l'analyse auditive des éléments musicaux. Les enseignants ont parlé des objectifs et des méthodes utilisés dans l'enseignement, des difficultés les plus courantes identifiées chez les étudiants, et de la pédagogie des apprentissages auditifs.

**Parcours de l'enseignant** L'ENSEIGNANT 1 (E1) enseigne la culture de l'écoute et la formation auditive depuis environ 15 ans, commençant pendant sa thèse. Il a commencé avec quelques heures de cours lorsqu'il était doctorant et a continué depuis. Il enseigne depuis de nombreuses années un cours d'harmonisation à la Sorbonne, destiné aux étudiants préparant l'agrégation et le capes. Ce cours se concentre sur la préparation d'une épreuve orale spécifique à l'agrégation, où les étudiants reçoivent une ligne mélodique qu'ils doivent harmoniser, chanter avec accompagnement, et improviser en une heure.

L'ENSEIGNANTE 2 (E2) a également 15 ans d'expérience dans l'enseignement de la formation auditive à l'université. Elle a également acquis une expérience dans l'enseignement de l'harmonisation et l'écriture.

L'ENSEIGNANTE 3 (E3) est titulaire d'un poste dans un conservatoire. Elle a également enseigné cette discipline à Sorbonne Université pendant 20 ans et au moment de l'entretien elle remplaçait un collègue dans le même cursus.

L'ENSEIGNANT 4 (E4) a étudié au CNSM de Lyon et il a soutenu sa thèse en musicologie en 2016. Depuis, il enseigne à l'UFR de musique et musicologie de Sorbonne Université, se concentrant sur l'écriture et l'analyse de la musique ancienne. Depuis trois ans, il anime un cours de deux heures sur la culture de l'écoute au deuxième semestre pour les étudiants de première année. Bien que cette activité soit périphérique à son enseignement principal, il y voit un intérêt en testant de nouvelles approches pédagogiques et des exercices différents de ceux de ses autres cours.

**Matière de culture de l'écoute** La matière de culture de l'écoute a comme objectif, former des connaissances sur les éléments musicaux, les pièces du répertoire et des caractéristiques stylistiques en utilisant notamment l'oreille. L'E1 synthétise ainsi : « j'aimerais que sans l'appui de la partition (parce que ça c'était le protocole depuis longtemps, même avant le changement de dénomination du cours) qu'ils retiennent, qu'ils comprennent, qu'ils saisissent tel objet musical, tel extrait, etc. » Il y a eu un changement concernant le changement de perspective et de nom de la matière liée à la formation auditive en musicologie. L'E1 explique les raisons derrière ces changements, notamment en réponse à l'évolution du public étudiant en musicologie. Il souligne que les étudiants proviennent d'horizons très divers, certains ayant des compétences limitées en termes d'outils musicaux de base, tels que la reconnaissance et la transcription musicale. Les enseignants ont modifié la manière dont les cours sont enseignés en mettant davantage l'accent sur les éléments spécifiques liés à certaines périodes musicales. Ils souhaitent que les étudiants puissent identifier et comprendre les différents idiomes musicaux, styles et éléments de langage musical sans nécessairement avoir besoin de partitions.

L'objectif est de créer une progression cohérente tout au long des trois ans

de licence, où les étudiants sont exposés à une variété de langages musicaux en histoire de la musique, en analyse, commentaire et en culture de l'écoute. L'E1 insiste sur le fait que le cours vise à développer une compréhension approfondie des éléments musicaux, tels que des formules rythmiques, des couleurs harmoniques spécifiques, et des pratiques modulantes, en se basant sur des exemples musicaux plutôt que sur des prises de notes complexes. L'E1 illustre sa position ainsi : « C'est sûr que si c'est pour faire des dictées, on écoute une musique, on fait une dictée, on fait une correction, oui. Mais bon, c'est pas du tout le but de ce cours-là. Donc pour moi, c'est encore une fois de contextualiser, puis de triturer les objets musicaux. »

L'idée est de rendre la formation plus équitable, car la transcription peut être un obstacle pour certains étudiants. Plutôt que de se concentrer uniquement sur des objets musicaux complexes, l'E1 souhaite que les étudiants écoutent un large répertoire musical pour assimiler divers idiomes musicaux. L'objectif est que les étudiants puissent identifier des procédures communes à différentes périodes musicales et les reconnaître chez différents compositeurs, démontrant ainsi une compréhension approfondie de la musique au-delà de la simple reconnaissance de morceaux spécifiques.

L'E1 explique que malgré la contrainte de travailler sur la période des collègues d'histoire de la musique, il trouve cela stimulant. Il insiste sur le choix des éléments à enseigner, soulignant la fluidité des frontières entre les périodes musicales et comment certains éléments, comme les marches harmoniques, évoluent au fil du temps. L'objectif est d'immerger les étudiants dans une période musicale spécifique. L'enseignement a toujours été lié aux périodes de l'histoire de la musique, même si les changements récents dans la maquette ont entraîné une approche plus semestrielle.

L'E3 explique qu'au moment du changement de nom de la matière les contenus se sont élargi pour toucher aussi des musiques actuelles et des musiques autres que celles étudiées dans le répertoire classique européen. Elle dit : « Maintenant, ça s'appelle culture de l'écoute depuis deux ans, et maintenant, c'est beaucoup plus large. C'est toutes les esthétiques, y compris le rock, les musiques actuelles, toutes sortes de musique. »

L'E3 constate également que la progression des exercices a évolué au fil du

temps. En effet, les étudiants étaient auparavant amenés à transcrire des progressions harmoniques, mais ce type d'exercice est devenu moins fréquent. L'E3 estime que cette évolution est due à la difficulté de ces exercices pour les étudiants. En effet, les étudiants doivent avoir une bonne connaissance de la théorie musicale pour pouvoir transcrire des progressions harmoniques. L'utilisation de QCM permet aux étudiants de répondre aux questions sans avoir à transcrire ou à écrire, ce qui les rend plus accessibles. L'E3 argumente : « c'est devenu moins technique. Maintenant, dans les épreuves, il y a des QCM, c'est-à-dire, tout se passe comme si les étudiants ne devaient plus trop écrire, ou transcrire, parce que c'est devenu difficile pour eux, et on leur donne les réponses. Ils doivent choisir la bonne réponse. »

L'E3 explique que les programmes d'enseignement de la culture de l'écoute ont évolué au cours des années, en passant d'une progression très rigide à une progression plus souple. Ce système présentait plusieurs inconvénients. Tout d'abord, il ne tenait pas compte de l'hétérogénéité des niveaux des étudiants. En effet, certains étudiants avaient un niveau musical plus élevé que d'autres, et ils étaient donc frustrés de devoir suivre une progression qui était trop lente pour eux. D'autres étudiants avaient un niveau musical plus faible, et ils avaient du mal à suivre la progression, ce qui pouvait les décourager. Enfin, ce système était peu motivant pour les étudiants. En effet, les étudiants avaient l'impression de suivre un programme imposé, sans avoir la possibilité de choisir les œuvres ou les exercices qu'ils voulaient étudier. Pour remédier à ces inconvénients, les programmes d'enseignement de la culture de l'écoute ont évolué vers une progression plus souple. Cette progression est désormais basée sur des objectifs pédagogiques, qui sont les mêmes pour tous les étudiants, mais qui peuvent être atteints de différentes manières.

L'E4 explique que bien que des compétences communes soient partagées avec les collègues, chaque enseignant a une marge de manœuvre pour adapter ses méthodes. Le cours inclut des exercices standard tels que la reconnaissance de plans tonales, les relevés mélodiques, et les reconnaissances d'intervalles. Chaque enseignant a ses spécificités, et le professeur interviewé se concentre sur le contrepoint de la Renaissance. L'écriture n'est pas directement sollicitée, bien que des exercices courts puissent être assignés, différenciant cette activité

de celle du cours d'écriture plus approfondi. Les compétences travaillées, telles que le chiffrage d'accord et l'identification de notes étrangères, sont communes aux deux cours, mais les méthodes diffèrent. L'enseignant s'exprime ainsi : « Par exemple, des reconnaissances d'enchaînements tonals typiques sur des fonctions harmoniques, par exemple, avec des dominantes secondaires, ou alors des fonctions tonals typiques, par exemple, tonique vers dominante ou dominante vers tonique, des enchaînements comme ça qu'on essaie aussi de travailler sous forme écrite dans le cours d'écriture, et puis d'apprendre à reconnaître dans différentes configurations dans le cours de culture de l'écoute ».

**Difficultés identifiées chez les étudiants** Les quatre enseignants identifient plusieurs difficultés majeures, notamment les appréhensions des étudiants liées à la crainte de la dictée musicale. Bien que la lecture musicale traditionnelle soit moins centrée dans leur mission actuelle, cela présente néanmoins un défi. L'hétérogénéité des étudiants représente un défi supplémentaire pour tous les enseignants, avec des niveaux de compétence variés. Certains étudiants, sans formation de conservatoire, peuvent se sentir désavantagés, et l'E1 s'efforce de ne pas pénaliser ceux qui n'ont pas l'expérience de la prise de notes musicale. Par exemple il affirme : « Parce que je souhaitais en particulier limiter la prise de notes, tous les éléments de transcription qui pour moi était un élément, d'abord qui fait peur à beaucoup. Et surtout qui est extraordinairement inégalitaire. Si vous voulez, par rapport à ceux qui ont une formation de conservatoire, et une dextérité de prise de notes formidable, et du coup ceux qui n'ont pas eu cette formation étaient très déstabilisés. » L'E1 reconnaît le changement dans l'éducation musicale contemporaine, où la dictée musicale est moins fréquente même dans les conservatoires. Ainsi, imposer cette méthode à l'université risquerait de décourager les étudiants.

L'E3 constate que l'hétérogénéité est due aussi à l'élargissement du recrutement, qui a conduit à l'admission d'étudiants de niveau musical plus faible. L'enseignante estime que cette évolution est due à des raisons politiques. En élargissant le recrutement, l'université espère augmenter ses effectifs et donc ses ressources financières. Cependant, cette décision a des conséquences négatives sur la qualité de l'enseignement. Par rapport à ce sujet elle témoigne : « Il y avait

quand même des étudiants faibles, mais cette année, on a pris plus d'étudiants, donc on a pris des étudiants beaucoup plus faibles, parce que si on prend plus d'étudiants, il y a plus de budget pour l'université, plus d'argent, c'est ce que j'ai compris. Voilà, il y a plus d'argent pour l'université. Donc, cette année, peut-être pour les politiques universitaires, pour préserver le département musique et musicologie, peut-être le choix politique. »

L'E2 mentionne : « En tant qu'enseignants une des difficultés principales que nous avons et notamment en L1 c'est l'hétérogénéité des niveaux de nos étudiants, qui peuvent venir de d'univers musicaux très différents, des formations très différentes. Certains ont des formations de conservatoire, d'autres non. » Elle souligne le défi de maintenir un équilibre entre l'enseignement collectif et individuel, particulièrement lorsque les groupes sont nombreux. L'hétérogénéité devient particulièrement difficile à gérer, car certains étudiants ont un besoin réel de formation auditive tandis que d'autres sont déjà avancés.

L'E2 pense que cette hétérogénéité des niveaux est due à plusieurs facteurs, notamment la diminution des heures de formation musicale au conservatoire ; l'ouverture de nouvelles formations musicales, qui attirent des étudiants qui ne sont pas forcément intéressés par la formation auditive ; la diversification des parcours scolaires des étudiants, qui peuvent venir d'autres disciplines que la musique. Cette enseignante constate également que les étudiants sont souvent démotivés par la formation auditive, car ils ne perçoivent pas son importance. Elle pense que cela est dû au fait qu'ils ne voient pas les applications concrètes de cette discipline dans leur cursus universitaire.

L'E1 met en avant la nécessité d'explorer d'autres formes de valorisation de l'écoute que la transcription. Il encourage les étudiants à chanter, reconnaître, transcrire et créer à partir de l'écoute. Ces approches alternatives visent à rendre le cours plus accessible et attractif.

L'hétérogénéité est également soulignée en termes de perception, en particulier dans l'écoute harmonique. Identifier les fonctions harmoniques dans un contexte tonal sans partition représente un défi, mais l'E1 souligne l'importance de reconnaître les couleurs harmoniques et de travailler sur les progressions harmoniques.

Une autre difficulté réside dans l'enseignement de la conduite de voix de

la basse. En effet, les étudiants n'arrivent pas à reconnaître les mouvements des voix basses, ce qui les empêche souvent de comprendre les mouvements harmoniques en général. L'E1 reconnaît que, même si les étudiants peuvent avoir des difficultés mélodiques, certains peuvent restituer vocalement des éléments harmoniques sans pouvoir les écrire. Cela souligne l'importance de sensibiliser les étudiants à la matière harmonique, au-delà de la mélodie et du rythme.

L'E4 remarque que les étudiants en sciences et musicologie ont des profils différents de ceux des étudiants en musicologie. Ils ne se destinent pas forcément à une carrière musicale, mais plutôt à un métier qui associe sciences et musique, ou à une carrière scientifique. Ils sont souvent plus réactifs et plus vifs, et ils ont une meilleure capacité de réflexion. Ils sont également plus consciencieux et plus travailleurs. Il affirme : « Si bien qu'on peut souvent aller un peu plus loin avec eux qu'avec un groupe strictement de tuteurs musicologues. Souvent, on peut aller aussi un peu plus dans des choses abstraites, facilement, c'est-à-dire faire un peu plus de chiffrage, plus d'écriture, etc. Ils ont plus de facilité avec les choses un peu plus abstraites, un peu plus de réflexion. »

**La motivation dans la formation auditive** Par rapport à la motivation dans la formation auditive, l'E2 dit : « Là c'est vraiment des étudiants qui partent de très loin, qu'on pas de base musicale. Alors là où le résultat est positif sur un semestre encore compliqué de vous dire. Ils ont progressé ça je n'en doute pas c'est sûr. Au niveau de la motivation si je pense, que pour beaucoup même si ça n'a pas été facile parce que dans les autres enseignements ça reste compliqué. Ils s'accrochent, ils savent qu'ils peuvent me poser des questions, que je reste disponible donc en tout cas là c'est positif. » Certains étudiants reconnaissent la nécessité de la formation auditive dès leur arrivée, tandis que d'autres peuvent trouver le niveau trop facile ou trop difficile, rendant complexe la création d'un enseignement adapté à tous. Pour motiver ces étudiants, l'enseignante pense qu'il est important de leur montrer que la culture de l'écoute peut les aider à progresser dans leurs autres matières. Par exemple, elle peut leur montrer comment la culture de l'écoute peut les aider à mieux comprendre la notation musicale, à analyser une pièce de musique ou à improviser.

L'E2 explique qu'elle est responsable d'un groupe expérimental de culture



de l'écoute destiné aux étudiants de niveau faible. Ce groupe est constitué de petits effectifs et les séances sont plus longues que pour les autres groupes. L'enseignante pense que ce groupe expérimental est un succès. Les étudiants sont plus motivés et progressent plus rapidement. Elle pense que ce modèle pourrait être étendu à d'autres groupes d'étudiants, notamment les étudiants de L2. Cependant, elle souligne qu'il est important de limiter les effectifs de ces groupes pour pouvoir offrir un suivi individualisé aux étudiants.

La stratégie de l'E4 est qu'il donne des attentes minimales à tous les étudiants, puis propose des niveaux supplémentaires pour ceux qui sont plus à l'aise. Cette approche différenciée vise à fournir des défis adaptés à chaque étudiant, évitant l'ennui tout en assurant une base commune.

**Utilisation du répertoire varié** L'E1 mentionne son choix d'utiliser des exemples simples, souvent issus de la pop et des chansons, pour illustrer des concepts tels que les structures itératives, les alternances d'accords, et les formules obstinées. Il affirme : « c'est vrai que c'est des marches harmoniques qui naissent on va dire à la fin de la renaissance, en baroque. Et qu'on peut retrouver après dans du métal symphonique par exemple. Donc c'est là où nous, on s'accorde pas par démagogie, mais pour montrer qu'il y a des éléments qui grosso modo naissent à telle ou telle période ; et ensuite évoluent, parfois n'évoluent pas. Je veux dire, une marche des quintes chez Vivaldi, elle est strictement la même chez Michel Legrand où dans du dans des pièces de métal symphonique. C'était pour leur faire quel que soit le timbre, parfois qu'ils puissent reconnaître tel élément du langage musical. »

Il utilise des chansons avec des grilles d'accords répétitives pour démontrer des notions fondamentales telles que les relations entre les degrés majeurs et mineurs. Il met en avant l'importance de verbaliser les concepts musicaux, tels que les conduites conjointes ascendantes ou descendantes, afin d'améliorer la compréhension théorique. L'E1 souligne également la nécessité de sensibiliser les étudiants à la tension et à la détente dans l'harmonie, en les encourageant à reconnaître la tonique et à comprendre les rapports entre les accords. Il insiste sur le fait que chaque style musical, même s'il peut être plus complexe, possède sa propre richesse et ne doit pas être considéré comme une progression linéaire

vers la difficulté.

L'E3 pense que l'utilisation d'un répertoire varié est essentiel pour l'apprentissage de la musique. Elle considère que les méthodes actives, qui font appel à l'engagement du corps, sont intéressantes, mais qu'elles présentent un défaut majeur : elles se limitent à un répertoire tonal, généralement des chansons enfantines. Elle pense que les élèves doivent être exposés à une variété de styles musicaux. Elle estime que cela leur permettra de développer leur compréhension de la musique et de l'apprécier dans toute sa diversité. En accord avec son point de vue, l'enseignante dit : « Moi, ce que j'ai vu de Jaques-Dalcroze, comme dans Orff, comme dans Martenot, c'est leur chanson à eux. Et moi, je suis désolé, j'apprends pas des chansonnettes aux enfants. Je leur fais écouter du Bach, du Ligeti, ou ce que je peux, c'est une ouverture sur la musique. »

**Liens avec la recherche et l'approche pédagogique** L'E1 s'intéresse aux recherches en perception musicale. Il a échangé avec des chercheurs et assisté à des conférences. Pourtant, il rencontre des difficultés pour appliquer les théories des chercheurs comme Mcadams, Frances, ou Bigand dans l'enseignement de la musique. Malgré l'enthousiasme et la stimulation intellectuelle que peuvent donner les recherches en cognition musicale, L'E1 souligne le manque d'exemples didactiques pertinents pour des étudiants en musicologie. L'E1 estime qu'il faudra faire des liens entre les recherches et théories et les applications pratiques en pédagogie. Par rapport aux conférences et séminaires de recherche en pédagogie et perception musicale il dit « je voyais jamais l'articulation, l'application possible en cours avec des étudiants inscrits en musicologie avec ces travaux de perception, de cognition, de psychologie de l'écoute ».

Le public actuel qui assiste aux cours de musicologie à l'université évolue de manière analogue aux besoins du marché de travail. Les étudiants sont issus d'univers musicaux plus divers et leurs objectifs ne sont pas les mêmes que dans d'autres époques. L'E1 voit son rôle d'enseignant comme une opportunité d'agir sur l'exploration des différents répertoires et cultures musicales au-delà d'un cours pour avoir des fortes compétences techniques d'oreille musicale. Il explique : « j'ai parfois moins d'exigences aussi, je sais très bien qu'avec ce type de programme on a moins d'exigences sur tel ou tel aspect effectivement. Nos

étudiants seront moins performants sur quelque chose qui serait important, fin et qu'il a été dans d'autres... en même temps on leur fait découvrir d'autres répertoires, et on leur fait acquérir des savoir-faire qui n'avait pas auparavant sur lequel n'était pas évalués, et que je trouve sont aussi stimulants pour eux. »

L'E2 a une formation de chant et elle donne des cours de chant aussi, par conséquent elle essaye d'encourager ses étudiants à chanter les réponses aux exercices de culture de l'écoute. Pour elle, l'utilisation du geste vocal permet de s'approprier des éléments musicaux en les rendant davantage mémorisables.

L'E3 utilise des méthodes actives pour enseigner la formation auditive. L'enseignante explique que les méthodes actives sont basées sur l'idée que l'apprentissage est plus efficace lorsqu'il est sensoriel et kinesthésique. En impliquant le corps des étudiants dans l'apprentissage, les méthodes actives permettent de créer des liens plus forts entre les concepts musicaux et les expériences sensorielles des étudiants. L'enseignante cite plusieurs exemples de méthodes actives qu'elle utilise dans ses cours. Par exemple, pour enseigner le rythme, elle demande aux étudiants de frapper des mains ou de marcher au rythme d'une mélodie. Dans son travail au conservatoire, elle va plus loin avec des jeunes élèves. Pour enseigner les hauteurs tonales, elle demande aux étudiants de se déplacer dans l'espace en fonction des hauteurs des notes. Et pour enseigner les structures musicales, elle demande aux étudiants de jouer des instruments de musique ou de danser sur une mélodie, « En faisant intervenir le corps, soit des mouvements de marche, soit des mouvements de balancement, ou soit des grands gestes pour qu'ils y aient un ressenti, en fait, pour qu'il y a un ressenti et un ancrage corporel », argumente l'E3.

L'E3 estime que les méthodes actives sont particulièrement utiles pour les étudiants qui ont des difficultés à apprendre de manière traditionnelle. Ces étudiants peuvent avoir des difficultés à comprendre les concepts musicaux de manière abstraite. Les méthodes actives leur permettent de visualiser et de ressentir les concepts musicaux, ce qui facilite leur apprentissage. L'enseignante adopte une approche qui combine les principes des méthodes actives avec une ouverture sur une variété de styles musicaux. Elle utilise des activités physiques pour aider les élèves à comprendre la musique, mais elle leur fait également écouter de la musique classique, de la musique contemporaine et de la musique

populaire.

L'idée de connecter l'investissement corporel, tel que le chant, avec l'écoute et l'analyse musicale est soulignée par l'E4 comme une manière de renforcer l'apprentissage. Cependant, l'enseignant reconnaît que de nombreux étudiants sont réticents à chanter en public. Il suggère qu'explorer des moyens de surmonter ces barrières pourrait être une piste pertinente à suivre. Il affirme « Alors, dans le cadre du cours en présentiel, il y a quelque chose que je constate, qu'on constate tous, c'est que les étudiants sont assez inhibés par rapport au fait de chanter, par exemple, de jouer devant les autres. »

### 1.4.3 Enquête auprès d'étudiants de Sorbonne Université

Un questionnaire a été réalisé pour explorer l'état des lieux de l'utilisation du numérique comme outil pédagogique complémentaire et les attitudes et les besoins d'étudiants par rapport à la formation auditive à l'UFR de Musique et Musicologie de Sorbonne Université. La littérature en pédagogie musicale internationale et française met en lumière le décalage entre la place du numérique dans l'enseignement musical et son utilisation dans le milieu professionnel musical [772]. L'objectif de l'enquête était de comprendre les conditions d'utilisation du numérique à des fins pédagogiques par les étudiants de l'UFR de Musique et Musicologie de Sorbonne Université. Dans la section présente on analyse les questions qui portent sur les apprentissages auditifs de manière générale sans prendre en compte le numérique. Dans le chapitre suivant les questions qui portent sur les interactions avec le numérique sont présentées.

Le questionnaire a été conçu et envoyé en 2021. Avant d'être envoyé aux étudiants de l'UFR de musicologie de Sorbonne Université, il a fait l'objet d'un pré-test auprès d'étudiants de musicologie à l'Université de Bourgogne en février 2021. Le pré-test nous a permis de réfléchir au contenu et à la façon de formuler les questions.

En 2023, il a été légèrement modifié et renvoyé aux étudiants. L'objectif était d'analyser l'évolution des attitudes face à la matière dans une période de cours en distanciel et en présentiel, ainsi que l'influence de l'avancement technologique sur ces résultats.

TABLEAU 1.1 – Questionnaire 2021 apprentissage auditif

Question	Réponses possibles
Êtes-vous intéressé.e par la formation auditive (reconnaissance auditive mélodique, harmonique, rythme, texture, expression... )?	Oui, Non
Avez-vous eu des difficultés d'apprentissage en formation auditive (reconnaissance auditive mélodique, harmonique, rythme, texture, expression...)?	Oui, Non
Lorsque vous rencontrez des difficultés d'apprentissage en formation auditive, de quel(s) problème(s) pensez-vous qu'elles proviennent?	Perception, Motivation, Concentration, Mémorisation, Compréhension, Non, je n'ai pas eu de difficultés, Autre
Quel est votre principal instrument pratiqué?	
Depuis quelle année faites-vous de la musique?	
Combien d'heures par jour pratiquez-vous la musique?	Pas tous les jours, Moins d'une heure, 2 - 3, 4 ou plus
Combien d'heures par semaine avez-vous pratiqué la musique en groupe? (avant la crise sanitaire)	Je ne pratiquais pas la musique en groupe, Moins d'une heure, 2 - 3, 4 ou plus
Avez-vous eu une formation dans un établissement d'enseignement spécialisé?	Oui, Non
Quel est votre niveau de formation à l'université en musicologie?	L1, L2, L3, M1, M2
Pendant combien d'années avez-vous suivi une formation musicale (solfège)?	Moins d'un an, 1 - 2, 3 - 4, 5 ou plus

### Questionnaires 2021 et 2023

En 2021, le questionnaire était créé sur la plateforme Framiforms ([framaforms.org](https://framaforms.org)) et distribué par mail par l'UFR de Musique et musicologie. Avant de commencer le questionnaire, les participants devaient cocher une case dans laquelle ils acceptaient participer dans cette étude de forme libre et anonyme sans rémunération financière. La durée du questionnaire était estimée de dix minutes.

L'intégralité des données se trouve dans le lien suivant : [https://drive.google.com/drive/folders/1m2vKH\\_QR5bjYsbf7j7dSwiCwqLwpcSnh?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1m2vKH_QR5bjYsbf7j7dSwiCwqLwpcSnh?usp=sharing)

Ici, les questions portant sur l'apprentissage auditif et les questionnes démographiques sont présentées (sans compter les questions de sexe, nationalité et âge).

De manière similaire au questionnaire de 2021 le questionnaire du 2023

était créé sur FramForms([framaforms.org](http://framaforms.org)) et distribué par mail par l'UFR de Musique et musicologie. Avant de commencer le questionnaire, les participants devaient cocher une case pour accepter de participer à cette étude de forme libre et anonyme sans rémunération financière. La durée du questionnaire était estimée à dix minutes.

Ce questionnaire a également été envoyé aux étudiants de musicologie d'autres universités françaises avec l'objectif de comparer les réponses entre des différentes populations. Celles qui l'ont diffusé étaient l'Université de Bourgogne, l'Université Grenoble Alpes, l'Université de Strasbourg, et l'Université Lyon 2.

Ici, les questions portant sur l'apprentissage auditif et les questionnes démographiques sont présentées (sans compter les questions de sexe, nationalité et âge).

### **Population**

En 2021, la population totale était de 839 étudiants répartis dans 14 programmes d'études, parmi lesquels 125 ont répondu. Cela donne un niveau de confiance de 95% et une marge d'erreur de 8%. Le questionnaire n'a été envoyé qu'une seule fois. Le questionnaire de 2023 a reçu 110 réponses, mais il a dû être envoyé deux fois pour obtenir ce niveau de participation. La population des deux enquêtes était similaire en termes d'âge, de sexe, d'années de pratique musicale et de niveau universitaire.

### **Les résultats par rapport à l'apprentissage auditif**

Dans les deux années, seulement 20% des étudiants n'ont pas éprouvé de difficultés dans l'apprentissage de l'oreille. Pour le reste des étudiants, la perception, la mémoire et la concentration ont été les principales causes des difficultés d'apprentissage au cours des deux années.

En 2021, la plupart des étudiants (88%) avaient 3 ans ou plus de formation auditive et de théorie musicale, et en 2023, la majorité (91%) avait déclaré avoir fréquenté une école de musique ou conservatoire avant de commencer l'université. Les deux groupes avaient en moyenne 15 ans de pratique musicale.

TABLEAU 1.2 – Questionnaire 2023 apprentissage auditif

Question	Réponses possibles
Si vous avez eu des difficultés d'apprentissage en formation auditive (reconnaissance auditive mélodique, harmonique, rythmique, texture, expression...), de quel problème pensez-vous qu'elles proviennent?	Perception, Motivation, Concentration, Mémorisation, Compréhension, Non, je n'ai pas eu de difficultés, Autre
Pratiquez vous la composition ou l'improvisation en dehors des cours?	Oui, Non
Quelles sont vos plus grandes compétences en formation musicale parmi celles ci-dessous?	Lectures dans différentes clés, Lecture mélodique, Lecture rythmique, Dictée mélodique, Dictée harmonique
Quelles sont vos plus grandes difficultés en formation musicale parmi celles ci-dessous?	Lectures dans différentes clés, Lecture mélodique, Lecture rythmique, Dictée mélodique, Dictée harmonique
Avez-vous l'habitude de chanter pour étudier ou analyser le contenu des cours?	Jamais, Parfois, Souvent, Très souvent
Est-ce que vous fredonnez, chantonnez, ou chantez en dehors des cours ou des activités musicales?	Jamais, Parfois, Souvent, Très souvent
A votre avis avez-vous une bonne mémoire musicale? Ex : Arrivez-vous à jouer sans partition?	Oui, Non
Quel est votre principal instrument pratiqué?	
Depuis quelle année faites-vous de la musique?	
Combien d'heures par jour pratiquez-vous la musique?	Pas tous les jours, Moins d'une heure, 1 heure, 2 - 3, 4 ou plus
Combien d'heures par semaine pratiquez-vous la musique en groupe?	Moins d'un an, 1 - 2, 3 - 4, 5 ou plus
Avez-vous eu une formation dans un établissement d'enseignement spécialisé? (conservatoire, pôle supérieur ou CNSMND)	Oui, Non
Quel est votre niveau de formation à l'université en musicologie?	L1, L2, L3, M1, M2
Avez-vous eu des cours de solfège ou de formation musicale avant de commencer l'université (dans un conservatoire ou une école de musique)?	Oui, Non
La musique a-t-elle été présente dans votre foyer (y a-t-il des personnes dans votre famille qui chantent ou jouent d'un instrument de musique)?	Oui, Non
Quelle est votre activité (ou intérêt) principale musicale?	Analyse, Composition, Composition assisté par ordinateur, Direction de chœur ou d'orchestre, Enregistrement et mixage, Interprétation

TABLEAU 1.3 – Distribution de la population

Année	Total	Homme (%)	Femme (%)	L 1 (%)	L 2 (%)	L 3 (%)	M 1 (%)	M 2 (%)	Age médiane	Age gamme	Age moyenne
2021	125	29,6	70,4	31,2	20,8	24	11,2	12,8	21	18-66	24,18
2023	110	39,09	60,9	22,72	15,45	10	7,27	5,45	21	18-67	24

Les instruments les plus pratiqués par les répondants des deux années étaient le violon, le piano, la voix, la guitare et le violoncelle.

Le nombre d'étudiants qui ne pratiquaient pas un instrument de musique ou chantaient quotidiennement ou pratiquaient moins d'une heure par jour est passé de 19% à 28%.

Dans les deux années, 80% des participants ont déclaré consacrer au moins une heure par semaine à la pratique musicale en groupe.

En 2023, 62% ont déclaré que la musique était une activité courante au sein de leur foyer, et leurs principaux objectifs en relation avec la musique étaient la performance (67%), l'analyse (10%) et la direction d'orchestre (10%).

Du point de vue de la formation de l'oreille, les répondants ont identifié que leurs principales faiblesses étaient la dictée harmonique (40%) et la dictée mélodique (26%). Leurs principales compétences étaient la lecture rythmique (26%) et la lecture mélodique (26%).

Dans les deux années, juste le 20% des étudiants n'ont pas éprouvé de difficultés dans l'apprentissage de l'oreille. Pour le reste d'étudiants, la perception, la mémoire et la concentration ont été les principales causes des difficultés d'apprentissage au cours des deux années.

### Résultats dans d'autres universités françaises

Quatre-vingt-deux étudiants inscrits dans d'autres universités ont répondu au questionnaire. Les résultats ne sont pas très différents de ceux observés à l'UFR en 2023. 27 étudiants de l'Université de Bourgogne, 27 de Lyon 2, 16 de Grenoble et 12 de Strasbourg ont répondu. Il est important de mentionner que la taille des populations d'étudiants en musicologie dans ces autres universités n'est pas similaire à celle de la Sorbonne.

Les trois principales difficultés d'apprentissage, la mémorisation, la concentration et la motivation sont les mêmes qu'à Sorbonne Université. Il n'y avait pas de différences substantielles concernant les faiblesses et les forces en matière de



formation de l'oreille et de théorie musicale.

Les résultats ont également montré que moins de personnes dans les autres universités (environ 57%) ont suivi des cours de musique dans un établissement spécialisé avant d'entrer à l'université (contre 79%) qu'à Sorbonne Université. Une autre différence réside dans le fait que seuls 10% des participants préparent un master. Cela pourrait être lié à l'offre académique des autres universités par rapport à celle de la Sorbonne.

### **Analyse et discussion**

Les problèmes d'apprentissage communs aux deux enquêtes sont la perception, la mémoire et l'attention. Il est important de noter que 80% des étudiants indiquent ces réponses alors que, comme le montrent les résultats, ils se sont déclarés comme n'étant pas des novices en matière de formation de l'oreille ou de solfège. Ce résultat est présent indépendamment de tout autre facteur tel que le niveau universitaire, l'instrument, l'âge ou le nombre d'années de pratique musicale.

Les résultats montrent que les étudiants manquent de confiance dans leurs compétences d'écoute et dans leur capacité à les améliorer, malgré le fait que la plupart d'entre eux aient déjà consacré une quantité considérable de temps à travailler sur leurs compétences auditives au moment où ils sont à l'université. Il est possible qu'en tant que groupe, ils partagent la croyance que l'entraînement auditif est difficile et que les méthodes pour l'améliorer ne sont pas claires. S'attaquer à ce problème pourrait bénéficier à l'apprentissage de l'ensemble du groupe. Selon le chercheur Albert Bandura [52], l'auto-efficacité peut être développée grâce à des expériences vicariantes, des résultats de performance, des retours physiologiques et des persuasions verbales. Cela signifie que les étudiants devraient observer la performance d'une autre personne pour pouvoir comparer la leur, ressentir qu'ils accomplissent avec succès des tâches, utiliser plusieurs sens comme moyen d'obtenir des retours et recevoir des encouragements.

Comme le montrent les résultats, les principales causes des difficultés d'apprentissage identifiées par les élèves sont la mémoire, la concentration et la motivation. Ces compétences font partie des fonctions exécutives qui sont un

ensemble de processus mentaux qui nous permettent d'être attentifs, de rester concentrés, de planifier et d'atteindre des objectifs, entre autres activités [202]. Dans les chapitres suivants nous allons explorer des stratégies par lesquelles les fonctions exécutives peuvent être améliorés.

## **Conclusion**

En résumé, cette étude met en évidence les défis récurrents rencontrés par les étudiants en musicologie, notamment en ce qui concerne la perception, la mémoire et l'attention. Un constat surprenant est que même ceux qui se considèrent comme ayant une expérience antérieure dans la formation auditive ont exprimé des difficultés dans le domaine. Cette absence de confiance en leurs capacités auditives malgré les efforts antérieurs suggère un besoin crucial de soutien et de renforcement de l'auto-efficacité des apprenants. Selon la littérature scientifique, des stratégies portant sur des résultats de performance positifs, des retours physiologiques et des encouragements verbaux peuvent contribuer à renforcer cette confiance. De plus, les obstacles les plus fréquemment identifiés par les étudiants, à savoir la mémoire, la concentration et la motivation, soulignent l'importance des fonctions exécutives dans l'apprentissage musical. Pour relever ces défis, des stratégies visant à améliorer ces fonctions exécutives seront explorées dans les prochains chapitres.

## **1.5 Récapitulatif**

L'histoire de l'enseignement musical en Occident s'est concentrée sur le développement de l'oreille musicale et du chant, à partir des premières méthodes introduites par Guido d'Arezzo. Recourant à la solmisation pour saisir les relations tonales, ces méthodes ont évolué vers l'intégration du solfège et de la dictée musicale. Parallèlement à la complexification de la musique, l'éducation musicale s'est diversifiée pour embrasser différentes disciplines, conduisant à la spécialisation de chaque élément musical tel que le solfège, l'harmonie, et la conduite de voix. Néanmoins, les objectifs spécifiques de la formation auditive demeurent sujets à débat, mettant en lumière le besoin d'incorporer les progrès

de la psychologie musicale et d'aligner l'enseignement sur les besoins réels des musiciens.

Depuis le XIXe siècle, l'enseignement musical a principalement axé la formation auditive sur le solfège et la dictée musicale, bien que ces méthodes aient été questionnées dès leur origine. Des critiques comme Lowery et Drew ont souligné la nécessité d'aborder la musique de manière holistique et de développer l'oreille interne pour une utilisation consciente de la musique. Toutefois, les manuels du XXe siècle ont souvent continué à présenter une approche isolée des éléments musicaux. Les travaux de Robert Francès ont influencé l'enseignement musical en France, introduisant le concept d'acculturation tonale et soulignant l'importance de l'environnement musical sur la perception. La fin du XXe et le début du XXIe siècle ont vu des appels à des méthodes d'enseignement actives, visant une formation musicale plus engageante et connectée aux pratiques musicales réelles. Ces approches comprennent l'intégration de la psychologie musicale, l'usage de répertoires authentiques, et l'encouragement de l'improvisation et de la créativité. La nécessité de relier étroitement la formation auditive à la pratique instrumentale et d'autres disciplines musicales est devenue évidente, visant à rendre l'apprentissage plus pertinent et enrichissant pour les étudiants.

Les méthodes actives d'enseignement de la musique, qui ont pris leur essor entre les deux guerres mondiales, visent à rendre l'apprentissage musical plus interactif, créatif et accessible. Ces approches, influencées par des pédagogues tels que Émile Jaques-Dalcroze, Zoltán Kodály, Maurice Martenot, Carl Orff, et Edgar Willems, encouragent la participation active des élèves, utilisant le jeu, le mouvement, et l'expérimentation comme moyens d'apprentissage. Ces méthodes ont été conçues en réponse à un contexte historique et socio-économique spécifique, marqué par un besoin de réforme éducative qui valorise l'autonomie et l'expérience personnelle dans l'apprentissage. Elles partagent plusieurs principes fondamentaux, dont l'importance de l'expérience directe de la musique, le développement de la créativité, et l'apprentissage par l'expérience. Ces méthodes actives ont non seulement influencé l'enseignement musical dans le monde, mais continuent d'être pertinentes aujourd'hui, s'adaptant et évoluant pour répondre aux besoins éducatifs contemporains dans divers contextes culturels et pédagogiques.

L'apprentissage auditif en France, au sein des conservatoires et de l'université, notamment à Sorbonne Université, reflète une évolution pédagogique riche et diversifiée. Au conservatoire, depuis sa fondation, l'enseignement s'est structuré autour de méthodes formelles visant l'uniformisation pédagogique, avec un accent particulier sur la lecture à vue et la théorie musicale. La réforme du solfège en 1977, visant à moderniser l'approche par l'introduction de la « formation musicale », témoigne d'une volonté d'adapter l'enseignement aux évolutions de la musique contemporaine et à une approche plus intégrée de l'apprentissage musical. Cette transformation souligne l'importance accordée à l'expérience musicale avant l'analyse théorique. À l'université, en particulier à Sorbonne Université, l'enseignement de la musicologie et de la culture de l'écoute s'articule autour d'une approche plus ouverte et diversifiée, intégrant des influences variées allant du classique au contemporain, et mettant l'accent sur la perception et l'analyse auditive des œuvres. Les entretiens avec des enseignants des deux institutions révèlent les défis liés à l'hétérogénéité des niveaux des étudiants, la motivation et l'adaptation des méthodes pédagogiques aux besoins actuels. Ils illustrent également la richesse de l'offre éducative et la dynamique d'adaptation continue de l'enseignement musical en France, visant à équilibrer tradition et innovation dans la formation des musiciens et des musicologues de demain.

Une enquête réalisée auprès des étudiants de l'UFR de Musique et Musicologie de Sorbonne Université en 2021 et 2023 a exploré les attitudes et les besoins relatifs à l'apprentissage auditif et l'usage d'outils numériques d'apprentissage. L'étude a révélé que la majorité des étudiants ont éprouvé des difficultés, principalement dues à des problèmes de perception, de mémoire, et de concentration, malgré leur expérience en formation auditive. Les instruments les plus pratiqués étaient le violon, le piano, la voix, la guitare, et le violoncelle. Un changement notable entre 2021 et 2023 fut l'augmentation des étudiants ne pratiquant pas ou pratiquant moins d'une heure de musique par jour. Environ 80% des participants ont consacré au moins une heure par semaine à la pratique musicale en groupe. Les défis principaux identifiés dans la formation de l'oreille incluaient la dictée harmonique et la dictée mélodique, tandis que leurs forces résidaient dans la lecture rythmique et mélodique. Une comparaison avec d'autres universités françaises a montré des difficultés similaires en matière d'apprentissage auditif.

Cette analyse met en lumière les obstacles communs à l'amélioration de l'oreille musicale, suggérant un besoin d'approches pédagogiques renforçant la confiance et les compétences des étudiants.

# Usage du numérique pour l'apprentissage auditif

Ce chapitre explore l'utilisation des technologies numériques dans l'éducation en général, et plus particulièrement dans l'enseignement musical. Nous analyserons l'évolution des outils numériques pour les apprentissages auditifs. Enfin, nous examinerons l'avis sur les outils numériques d'enseignants d'université, de professeurs de conservatoire, de conseillers pédagogiques, de développeurs d'applications et d'étudiants d'université. L'objectif de ce chapitre est de comprendre l'apport actuel du numérique à l'apprentissage auditif et d'analyser les attitudes envers le numérique des différents personnages impliqués.

## 2.1 Enseignement à l'ère du numérique

Au XXI<sup>e</sup> siècle, la multiplication des technologies de l'information et de la communication augmente les utilisations des dispositifs numériques à de nombreuses fins dans le monde du travail et dans l'éducation formelle et non formelle.

A l'heure actuelle, la technologie joue un rôle crucial dans notre vie quotidienne, nous amenant à réfléchir sur la façon dont nous concevons nos tâches quotidiennes et nos grands projets. L'une de ces questions est la re-conception ou la restructuration de l'éducation et du système de formation par la technologie.

Les dispositifs numériques jouent un rôle important en aidant les apprenants et les enseignants dans leur rôle et en modifiant leur façon d'interagir avec le matériel.

Klaus Schwab [697] a commencé à parler en 2015 de la quatrième révolution industrielle. Si l'on considère les quatre révolutions industrielles, on peut constater remarque qu'il y a toujours eu une technologie clé, qui a apporté un changement radical. La première était l'invention de la machine à vapeur, qui a rendu possible la mécanisation de la production. La seconde est caractérisée par l'introduction de l'énergie électrique et la production de masse qui en a résulté. La troisième est caractérisée par l'utilisation de technologies de l'information et de l'électronique pour automatiser la production. Cette révolution industrielle se déroulera au cours du 21e siècle grâce au développement de l'intelligence artificielle, de l'édition du génome, de la réalité augmentée, de la robotique et de l'impression 3D, parmi d'autres inventions.

Le résultat de tout cela est une transformation sociétale à l'échelle mondiale. En affectant les motivations, les règles, et les normes de la vie économique, elle transforme la façon dont nous nous communiquons, nous apprenons, nous nous divertissons et nous entrons en relation les uns avec les autres, ainsi que la façon dont nous nous comprenons en tant qu'êtres humains. En outre, le sentiment que les nouvelles technologies sont développées et mises en œuvre à un rythme de plus en plus accéléré a un impact sur les identités humaines, les communautés et les structures politiques. En conséquence, nos responsabilités les uns envers les autres, nos possibilités d'épanouissement personnel et notre capacité à avoir un impact positif sur le monde sont étroitement liées à la façon dont nous nous engageons avec les technologies.

### 2.1.1 L'éducation 4.0

Les changements technologiques influencent également l'éducation, et certains chercheurs consacrent leur temps à développer et à adapter des outils pour la période d'« éducation 4.0 ». Les éléments de base de l'éducation 4.0 sont l'introduction de nouveaux formats d'apprentissage numériques qui combinent la flexibilité de l'enseignement à distance avec l'aspect social de l'enseignement en

personne. Il s'agit également de permettre l'accès aux contenus d'apprentissage partout et à tout moment, ainsi que l'utilisation de diverses sources d'information et de connaissances. L'éducation 4.0 se concentre davantage sur l'éducation interdisciplinaire et les évaluations individuelles axées sur les compétences et les progrès de l'apprentissage. Les systèmes éducatifs doivent renforcer l'apprentissage tout au long de la vie et l'individualisation de leurs programmes d'études. L'acquisition de compétences plutôt que de connaissances et l'application des compétences et des connaissances à des problèmes du monde réel ainsi que la transition du rôle de l'enseignant à celui de mentor sont des défis supplémentaires de l'éducation 4.0 [298].

La pandémie de COVID-19 a entraîné l'introduction rapide de nouveaux outils numériques dans les établissements d'enseignement. La prestation de cours hybrides et en ligne pendant le confinement a été principalement possible grâce aux outils numériques. Même s'il existe des licences payantes pour utiliser certains outils, il existe également de nombreuses options « gratuites » pour un outil de système de gestion d'apprentissage (*learning management system* ou LMS), un outil de collaboration, un moteur de recherche, un outil de création de contenu et un outil de partage pour engager les étudiants à leurs cours [562].

À l'heure actuelle, il existe plusieurs outils numériques éducatifs sur le marché. La littérature ne considère actuellement que des catégories d'outils spécifiques et leur potentiel d'amélioration du système éducatif, comme l'apprentissage par le jeu. Il n'existe actuellement aucune approche globale pour une utilisation intégrée et synergique des outils numériques dans l'éducation. Cependant, certains chercheurs tentent de développer des stratégies pour intégrer et exploiter pleinement les outils numériques dans l'éducation. Certaines études [505, 313] sur la mise en œuvre rapide de l'*e-learning* prouvent que des aspects tels que le soutien technique et financier, la formation, l'amélioration des conditions de travail, le contexte technologique, les compétences, la protection des droits d'auteur et le développement professionnel doivent être pris en compte.

Les nouvelles approches mettent l'accent sur la nécessité d'enseigner par le biais de formats tels que l'apprentissage mixte ou les classes inversées. L'apprentissage mixte fait référence à l'utilisation des supports numériques. Les classes inversées font référence à un type d'apprentissage mixte où les élèves sont initiés



au contenu à la maison et s'entraînent à le travailler à l'école. C'est l'inverse de la pratique plus courante qui consiste à présenter un nouveau contenu à l'école, puis à donner des devoirs et des projets que les élèves doivent réaliser de manière autonome à la maison [77].

Il est également nécessaire d'offrir un large accès à l'enseignement par le biais des MOOC. La valeur de la flexibilité dans l'apprentissage en ligne devrait continuer à rendre les contenus d'apprentissage accessibles partout et à tout moment. La plus grande disponibilité des sources oblige les étudiants à apprendre à traiter les nouvelles informations et à actualiser efficacement leurs connaissances. On assiste à un changement de paradigme, les sujets étant de plus en plus interdisciplinaires et sans frontières clairement définies. La valeur de l'application immédiate des connaissances contribuera à ce que l'étudiant décide de son propre parcours d'apprentissage. Dans ce nouvel environnement, l'enseignant doit trouver une nouvelle façon d'encadrer et soutenir les étudiants.

En résumé, les principaux éléments de l'éducation 4.0 selon l'article de Golding et al. sont les suivants [298] :

- de nouveaux formats d'apprentissage,
- l'apprentissage tout au long de la vie,
- l'accès aux contenus d'apprentissage partout et à tout moment,
- des programmes d'études individualisés,
- l'accès à de nouvelles sources d'information et de connaissances,
- l'acquisition de compétences plutôt que de connaissances,
- l'interdisciplinarité,
- l'application des compétences et des connaissances à des problèmes du monde réel,
- des méthodes d'évaluation individuelle axées sur les compétences et les progrès de l'apprentissage,
- le rôle de l'enseignant en tant que mentor.

Un grand nombre de ces mesures recourent les neuf mesures identifiées dans l'article d'Hussin [378] :

- l'éducation doit être disponible partout et à tout moment
- l'apprentissage doit être personnalisé pour chaque étudiant
- les étudiants ont le choix de déterminer comment ils veulent apprendre,

- les étudiants sont exposés à l'apprentissage par projet,
- les étudiants devraient avoir une expérience pratique accrue dans leurs domaines,
- les étudiants doivent interpréter les données
- l'évaluation des capacités plutôt que des connaissances factuelles.
- l'opinion de l'élève sera pertinente dans le programme d'études,
- les élèves deviennent plus indépendants et les enseignants deviennent des facilitateurs et des mentors.

### 2.1.2 Les outils pour l'éducation 4.0

Goldin, et al. [298] proposent une hiérarchie des outils numériques dans l'éducation 4.0, appelés « indispensables », « nécessaires » et « agréables à avoir » par ordre décroissant (*must-have, should-have, nice-to-have*).

#### Les outils indispensables

Il s'agit généralement d'outils numériques largement utilisés dans différents environnements d'apprentissage depuis quelques années. Les enseignants et les étudiants sont pour la plupart familiarisés avec ces outils et les institutions les ont adaptés à leur usage particulier. De nombreux outils sont en libre accès et il existe une grande variété d'options pour leur mise en œuvre. Ces outils sont les systèmes de gestion de l'apprentissage (LMS), la vidéoconférence, le stockage et le partage de fichiers dans le nuage et le carnet de notes numérique.

**Learning management system (LMS)** Un système de gestion de l'apprentissage (*LMS learning management system*) est une application logicielle pour l'administration, la documentation, le suivi, l'automatisation et la diffusion de cours, de programmes de formation, de matériel ou de programmes d'apprentissage et de développement. La première introduction du LMS date de la fin des années 1990. Le concept de système de gestion de l'apprentissage est né directement du *e-learning*. Les systèmes de gestion de l'apprentissage constituent le plus grand segment du marché des systèmes d'apprentissage. Bien qu'ils aient la réputation d'être des outils principaux pour l'enseignement à distance,

ils peuvent également être utilisés comme un complément à l'enseignement traditionnel en présence, comme Moodle. Les cours en ligne ouverts et massifs (MOOC) en sont un autre exemple. Les MOOC sont conçus pour mettre le contenu de l'apprentissage et les connaissances à la disposition d'un large public. Ce contenu d'apprentissage est disponible sous diverses formes sur la plateforme, comme des vidéos d'apprentissage enregistrées, des collections de problèmes et des forums de discussion publique et de résolution conjointe de problèmes. Les forums, en particulier, sont conçus pour encourager la collaboration et la communication, afin que les gens puissent se soutenir mutuellement dans leur processus d'apprentissage [399].

**L'outil de visio-conférence** Cet outil permet à des participants séparés géographiquement de communiquer entre eux via Internet. Les appareils terminaux enregistrent le son et la vidéo de l'utilisateur, que le programme crypte et envoie aux participants par Internet. Toutefois, l'éventail des fonctions de ces systèmes s'est considérablement élargi au fil du temps. Outre les appels vidéo purs, il est également possible de communiquer entre soi par le biais de messages texte ou d'appels vocaux traditionnels sans flux vidéo. Parmi les autres fonctionnalités populaires des outils de vidéoconférence, citons le partage d'écran, utile pour présenter des contenus tels que des présentations; le contrôle à distance de l'ordinateur d'une autre personne; le stockage et l'échange de données; une application de calendrier pour programmer et gérer les vidéoconférences. La littérature montre que l'enseignement synchrone en ligne par vidéoconférence requiert des compétences spécifiques. En mettant l'accent sur l'utilisation intensive de la vidéoconférence pendant la pandémie de COVID-19, des effets positifs et hautement significatifs ont permis de prédire l'intention des étudiants d'utiliser les technologies d'apprentissage à distance à l'avenir [114].

**L'échange des données et l'informatique en nuage** Le stockage dans le nuage est un modèle de stockage de données informatiques dans lequel les données numériques sont stockées dans des pools logiques, dits sur « le nuage ». Le stockage physique s'étend sur plusieurs serveurs (parfois en plusieurs endroits), et l'environnement physique est généralement détenu et géré par une société

d'hébergement. Il est possible d'accéder au contenu à tout moment et de n'importe où, à l'aide de dispositifs d'extrémité appropriés, et de le modifier ou de le supprimer à tout moment. L'un des avantages des systèmes en nuage est que le l'hébergement des données est externalisé. Selon les besoins de l'infrastructure informatique, il est possible d'acheter plus d'espace de stockage ou de passer à un plan avec moins d'espace. En plus de la possibilité de stocker des données sur ces serveurs en nuage, il est également possible d'utiliser des machines virtuelles entières qui peuvent être démarrés sur un serveur. Les services basés sur le *cloud computing* peuvent offrir aux utilisateurs et aux établissements universitaires des économies de coûts et l'accès à une puissance de calcul évolutive. La transition vers le *cloud computing* dans les universités est une étape importante en termes d'enseignement en ligne, de crise économique, de mondialisation et d'exigences élevées et en constante évolution [38].

**Le carnet de notes numérique** Les carnets de notes numériques sont le support numérique des activités réalisées pendant les cours, des devoirs et des notes. Dans le carnet de notes numérique, les utilisateurs peuvent consulter leur emploi du temps. Du point de vue administratif, le carnet de notes est également utilisé pour enregistrer les absences et les retards des élèves. L'enseignant peut également signer les heures travaillées afin de garantir la traçabilité. Cet outil peut être aussi simple que la modification d'une feuille de calcul jusqu'aux systèmes LMS qui ont intégré cette option. De cette façon, le travail des enseignants peut être facilité et l'aperçu des données fournit une base solide et des recommandations pour la conception d'un tableau de bord pour les enseignants [854].

### Les outils nécessaires

Ce sont quelques-unes des technologies qui ont fait la différence dans le succès de l'apprentissage mixte et à distance pendant et après la pandémie de COVID 19. Elles ont été intégrées par de nombreuses institutions, mais leur utilisation n'est pas encore une norme dans l'éducation. Elles requièrent un niveau d'organisation et d'investissement plus élevé de la part de l'institution que les outils mentionnés précédemment. Cependant, ils sont prometteurs et

pourraient être mieux intégrés dans la communauté éducative dans les années à venir. Les outils présentés sont : les outils de collaboration documentaire, les outils basés sur les jeux, les laboratoires virtuels et à distance. Ces outils permettent un engagement plus profond avec le contenu et une plus grande flexibilité pour les utilisateurs.

**L'outil de collaboration numérique** Les outils de collaboration numérique pour la création des documents permettent à plusieurs personnes de travailler en même temps sur les mêmes documents ou autres fichiers. L'objectif est de créer la version finale du document ou du fichier en collaboration. Cela permet d'impliquer plus facilement toutes les personnes participant à un projet ou à un travail et de raccourcir les délais de prise de décision. Tous les participants voient les modifications apportées par les autres en temps réel. Il est possible de commenter des parties du document, d'attirer l'attention des collaborateurs sur un certain problème. Cette collaboration simultanée devrait permettre de générer efficacement un travail de qualité et donc d'accroître l'efficacité. Dans un contexte d'enseignement, l'enseignant peut fournir un retour d'information qui peut devenir interactif grâce à la réponse de l'étudiant [679].

**L'outil d'apprentissage numérique par le jeu sérieux** Les études sur les jeux joués uniquement à des fins de divertissement suggèrent que le jeu est une expérience à la fois émotionnelle et physique et que l'engagement dans les jeux peut se refléter dans les émotions et les pensées des joueurs. Les joueurs se sentent liés, sur le plan émotionnel et cognitif, aux caractéristiques du jeu et à la manière dont leurs actions sont liées à la réalisation d'objectifs. L'idée derrière l'apprentissage par le jeu est que les élèves apprennent de nouvelles choses par la répétition, l'échec et la réalisation d'objectifs. Le joueur commence avec peu de connaissances et de compétences. Le jeu, il acquiert plus d'expérience et peut gérer des situations difficiles. L'impact du jeu, en termes d'engagement et d'apprentissage, dépend des différences individuelles des joueurs (c'est-à-dire de leur compétence en matière de jeu, de leur personnalité, de leurs préférences et de leur état émotionnel). Ainsi, l'engagement, lorsqu'il s'agit d'apprentissage, peut être considéré comme un processus personnel. Par conséquent, il est essentiel

de prendre en compte tous les éléments qui influencent l'expérience de jeu et d'apprentissage afin de maximiser l'impact de l'apprentissage par le jeu [4].

**Les laboratoires virtuels et les laboratoires à distance** Les laboratoires virtuels et les laboratoires à distance permettent de réaliser des expériences à distance. Les laboratoires virtuels (LV) sont une migration des expériences du monde réel dans le monde virtuel. Dans ce monde virtuel, des expériences peuvent être menées, et une simulation informatique calcule le résultat d'une expérience. Cela signifie que les expériences peuvent être réalisées à tout moment sans devoir être présent dans un laboratoire. En outre, le laboratoire virtuel offre un environnement sûr où il est possible de réaliser des expériences même dangereuses, qui seraient trop dangereuses à réaliser dans la réalité. En outre, aucune ressource autre que l'électricité nécessaire au fonctionnement de l'ordinateur n'est gaspillée pour réaliser l'expérience. Les laboratoires à distance (*Remote Labs* en anglais RL), quant à eux, utilisent l'internet pour contrôler des laboratoires réels avec des machines et des appareils réels. Les RL utilisent des équipements réels, ce qui en fait une alternative beaucoup plus coûteuse et se caractérise par une maintenance importante pour garantir une disponibilité et une fonctionnalité élevées. Toutefois, l'utilisation d'équipements réels permet d'expérimenter dans des circonstances réelles et d'une manière orientée vers la pratique. Le rôle de l'enseignant dans l'apprentissage avec les laboratoires virtuels a une grande fonction pour comprendre les caractéristiques des étudiants, de sorte que l'apprentissage peut se produire confortablement et à leur mesure. En particulier dans le processus d'enseignement à distance, afin que les étudiants ne ressentent pas un manque de recherche réelle qui ne permet pas aux étudiants de développer pleinement des compétences pratiques [684].

### **Les outils agréables à posséder**

Leur utilisation n'est pas très répandue et nombre d'entre eux doivent encore être développés pour être intégrés par la communauté éducative. De nombreux prototypes et premières versions ont été utilisés pendant la pandémie, mais leur utilisation ne s'est pas complètement poursuivie après la fin des confinements. Ces outils sont les outils numériques d'évaluation des examens, la bibliothèque

numérique et les tableaux blancs numériques. Ces outils sont principalement disponibles dans quelques universités des pays développés.

**Les outils d'évaluation numériques** L'évaluation fait partie intégrante du système éducatif actuel. Les technologies numériques ont le potentiel pour être une force puissante de changement dans la pensée, la politique et la pratique de l'évaluation, mais leur potentiel le plus significatif est peut-être celui de catalyseur pour provoquer un changement plus fondamental dans les priorités et les pratiques de l'éducation elle-même. Les outils d'évaluation numériques peuvent prendre plusieurs formes, notamment des tests à choix multiples et la résolution de problèmes sous forme de jeux et de simulations. Les étudiants peuvent être évalués en un temps très court, et dans de nombreux cas de manière totalement autonome, et peuvent donner ainsi un retour immédiat à l'étudiant sur le résultat de l'examen. Pour créer un environnement qui évite autant que possible la tricherie, ces programmes disposent parfois de fonctions de sécurité telles que le blocage du navigateur Internet ou l'enregistrement de l'examineur par le biais de la webcam et de son écran pour voir ses actions (*proctoring*) [589].

**La bibliothèque numérique** La bibliothèque numérique est accessible à tout moment via l'internet ou, dans certains cas, l'intranet d'une organisation. Ces bases de données peuvent inclure des livres électroniques, des livres numérisés, des revues électroniques, des données audio et des films. L'accès peut être créé de telle sorte que le lecteur puisse lire l'ouvrage entier ou seulement une partie de celui-ci. En outre, le système peut être conçu de telle sorte que l'utilisateur ne puisse utiliser les fichiers qu'en ligne ou qu'il puisse les télécharger sur son appareil. Depuis le début des années 1990, des sommes considérables ont été investies dans la recherche sur les bibliothèques numériques (*Digital Library* ou DL). De nombreux gouvernements dans différents pays du monde ont investi dans la création de leur DL national. Cependant, aux États-Unis, la recherche sur les DL a attiré beaucoup plus d'attention et de financement que dans d'autres parties du monde. En novembre 2008, Europeana, la bibliothèque, le musée et les archives en ligne de l'Europe, a été inaugurée. En France on trouve Gallica [275], la bibliothèque numérique de la Bibliothèque nationale de France (BnF). Depuis

1997, celle-ci offre l'accès aux documents imprimés (livres, presse, revues) en mode image, et en mode texte, manuscrits, documents sonores, documents iconographiques, cartes et plans, vidéos. L'Institut de Recherche en Musicologie (IReMus), répertorie des bases de données accessibles en ligne [383] comme par exemple NEUMA, une bibliothèque numérique de partitions rares ou peu diffusés, Musiconis, une base de données catalographique et iconographique de performances musicales figurées sur les supports médiévaux, parmi d'autres.

**Les tableaux blancs numériques** Les tableaux blancs numériques permettent écrire des notes ou réaliser des graphiques sur un tableau virtuel. Cela se fait à l'aide de dispositifs d'entrée appropriés tels qu'une souris d'ordinateur ou d'un stylet avec un écran tactile. L'utilisateur peut également insérer des images et des graphiques pour enrichir le contenu. Une étude de cas sur l'utilisation d'un tableau blanc numérique pendant le huis clos montre qu'il a été jugé utile car il a permis de préserver certaines des conditions habituelles et la dynamique de classe. Les résultats de cette étude montrent que les élèves ont ressenti la classe comme si rien n'avait changé par rapport aux interactions en personne. La mise en œuvre d'innovations pédagogiques permet aux étudiants de rester engagés et actifs en interagissant dans les cours [543].

### **D'autres outils pour l'éducation dans l'avenir**

Il s'agit d'outils développés par des chercheurs en éducation et en technologie. La plupart de la littérature disponible sur ces outils concernent des prototypes et des modèles expérimentaux. Peu de programmes éducatifs ont pleinement mis en œuvre ces outils dans leur pratique habituelle. Cependant, il y a beaucoup d'attentes quant aux possibilités qu'ils peuvent offrir. Les outils sont l'intelligence artificielle et la réalité virtuelle.

**La réalité virtuelle et la réalité augmentée** L'utilisation de la réalité virtuelle dans l'éducation a connu un long développement. De nombreuses tentatives ont été faites par différentes institutions et par l'industrie des jeux vidéo, mais elles n'ont pas été couronnées de succès, malgré l'augmentation du temps passé à la tâche, du plaisir, de la motivation, de l'apprentissage plus approfondi et



de la rétention à long terme. Une revue de la littérature [412] a révélé que les éducateurs appliquent fréquemment les solutions de réalité virtuelle ou RV uniquement dans des situations spécialisées nécessitant des simulations réalistes ou à des fins de formation. Une grande partie de la recherche était motivée par des facteurs intrinsèques, y compris la croyance que les étudiants seraient motivés par la nouveauté des technologies de RV ; un facteur qui diminuerait probablement avec une utilisation continue. Les auteurs ont également signalé que les étudiants trouvaient les mises en œuvre insuffisamment réalistes (vers 2017), et ont affirmé que cela était le résultat du temps et des ressources limités dont ils disposaient.

La poussée de l'éducation basée sur la RV, provoquée par la pandémie de Covid-19, devrait faire de ce style d'apprentissage l'une des préférences éducatives à l'avenir, notamment pour l'auto-apprentissage et l'enseignement dans certains domaines où la technologie RV est plus développée. Il y a eu beaucoup de recherches sur l'apprentissage de la RV, en particulier dans le domaine médical. Les tendances du type et de l'utilisation de la RV dans différents domaines de la connaissance seront orientées vers l'inclusion de modèles de RV expérimentaux, adaptés à chaque domaine de la connaissance. L'objectif est de créer des véhicules d'apprentissage qui améliorent l'acquisition de connaissances par les étudiants dans des domaines de connaissances spécifiques. Dans ce contexte, la formation des enseignants à l'utilisation de ces technologies dans un cadre pédagogique clair et adaptable aux différentes disciplines universitaires sera de plus en plus importante [671].

L'intégration de la réalité augmentée (RA) dans les environnements éducatifs permet de créer des expériences d'apprentissage interactives en superposant des informations numériques aux objets du monde réel. Cette technologie a eu un impact manifeste sur l'éducation depuis plus de deux décennies, avec des mises en œuvre réussies dans diverses disciplines et environnements d'apprentissage [282]. La RA offre une multitude d'avantages aux apprenants ; cependant, la recherche et le développement continus sont essentiels pour maximiser son potentiel dans le domaine de l'éducation. À mesure que le matériel de RA continue d'évoluer, ses applications dans l'éducation le feront également, présentant à la fois de nouvelles opportunités et des défis passionnants à explorer pour les

chercheurs.

Le développement de la réalité augmentée (RA) dans l'éducation a commencé avec un outil d'enseignement de l'anatomie tridimensionnelle à l'Université de Caroline du Nord en 1995, qui utilisait des casques de réalité augmentée pour superposer des structures osseuses sur des contreparties anatomiques réelles. De 1995 à 2009, les applications de RA, principalement limitées aux casques et aux écrans tête haute, se sont concentrées sur les sciences de la santé, l'ingénierie et les sciences naturelles, principalement pour les étudiants de premier cycle, et étaient coûteuses. Un changement significatif s'est produit avec l'avènement des moteurs de jeu, des kits de développement logiciel (SDK) et des technologies mobiles de RA vers 2010, rendant la RA plus accessible et conduisant à une adoption généralisée. Parmi les jalons notables figuraient la sortie de Vuforia, Google Glass et Pokémon Go, qui ont considérablement renforcé la popularité de la RA. Ces dernières années ont vu une floraison de la RA dans l'éducation à tous les niveaux et dans tous les domaines, avec des perspectives futures prometteuses grâce aux avancées dans les lunettes intelligentes, le WebAR et l'intégration de l'intelligence artificielle. Les Horizon Reports prévoient que la RA révolutionnera l'apprentissage et l'enseignement, en soulignant la nécessité d'une approche pédagogique qui maximise le potentiel de la RA.

**L'intelligence artificielle** Dès le développement des ordinateurs personnels, des recherches ont été menées pour utiliser l'informatique dans les programmes d'enseignement. S'appuyant sur les recherches antérieures sur les instructions programmées du milieu des années 1900, les développements des ordinateurs et des technologies informatiques connexes ont vu l'utilisation des ordinateurs dans différentes parties du secteur de l'éducation, comme le développement de l'enseignement et de l'apprentissage assistés par ordinateur. Les développements ultérieurs des ordinateurs et des technologies informatiques connexes, notamment la mise en réseau, l'Internet, le World Wide Web et autres, ont été à l'origine de l'application accrue des ordinateurs de différentes manières dans l'éducation [132].

Au fil des années, les technologies informatiques et de communication de l'information ont continué à évoluer, ce qui a conduit au développement de

l'intelligence artificielle. L'intelligence artificielle est la capacité des machines à s'adapter à de nouvelles situations, à faire face à des situations émergentes, à résoudre des problèmes, à répondre à des questions, à élaborer des plans et à exécuter diverses autres fonctions qui exigent un certain niveau d'intelligence généralement évident chez les êtres humains.

L'éducation basée sur le web et en ligne est passée de la simple mise à disposition de matériel en ligne ou sur le web pour que les étudiants le téléchargent, l'étudient et fassent des devoirs pour simplement les réussir, à des systèmes intelligents et adaptatifs basés sur le web qui apprennent le comportement de l'instructeur et de l'apprenant pour s'adapter en conséquence, afin d'enrichir l'expérience éducative.

L'IA a en effet été appliquée dans les établissements d'enseignement de différentes manières, notamment sous la forme d'une automatisation des processus et des tâches administratives, du développement des programmes et des contenus, de l'enseignement et des processus d'apprentissage des élèves. L'IA a permis d'améliorer l'efficacité de l'exécution des tâches administratives, telles que l'examen des travaux des élèves, la notation et le retour d'information sur les devoirs, grâce à l'automatisation de plateformes en ligne ou de programmes informatiques.

Parmi les autres domaines dans lesquels l'IA a été appliquée dans le secteur de l'éducation, citons le développement de programmes et de contenus, ainsi que les instructions tirant parti de technologies telles que la réalité virtuelle, les plateformes web, la robotique, la vidéoconférence, les fichiers audiovisuels et la technologie 3-D, qui ont permis aux élèves d'améliorer leur apprentissage. Les enseignants sont plus efficaces et efficaces et les étudiants bénéficient d'une expérience d'apprentissage ou d'éducation personnalisée et plus riche.

Une application de l'IA dans l'enseignement est appelée éducation de précision (*precision education*) est un système de reconnaissance anticipé (*early recognition system*) avec *machine learning* pour détecter les étudiants à risque. Une étude a été réalisée en 2017/2018 avec deux cours à l'Institut de technologie de Deggendorf. La prédiction visait à offrir à l'étudiant une estimation de ses activités d'apprentissage sur la base de son expérience passée. Ils ont reçu un e-mail d'attention personnalisée pour reconsidérer leur stratégie d'apprentissage

en vue de la réussite de l'examen. Le taux d'échec a été réduit de près de la moitié [150].

Un article de revue de littérature de 2021 [498] a trouvé 40 études empiriques sur l'éducation de précision utilisant des techniques d'apprentissage automatique. Les articles ont été rédigés entre 2016 et 2020, pour des techniques d'enseignement de précision appliquées à des cours de niveau universitaire pour la plupart, allant de l'ingénierie aux sciences sociales en passant par l'informatique. Le diagnostic et la prédiction ont été les principaux sujets de recherche. La plupart des techniques étaient axées sur la fourniture d'un retour d'information immédiat et individualisé. On observe également une tendance à utiliser des éléments de neuroscience, comme la recherche sur la mémoire de travail, l'attention et la prise de décision, combinés à l'apprentissage automatique pour améliorer les performances des étudiants.

Ouyang et Jiao [600] décrivent trois paradigmes pour l'IA dans l'éducation, à savoir l'IA dirigée, où l'apprenant est un destinataire, l'IA assistée, où l'apprenant agit en tant que collaborateur, et l'intelligence artificielle habilitée, où l'apprenant est un leader. Le troisième paradigme, qui tend vers une IA centrée sur l'homme (*Human-Centered AI* ou HAI), devrait aborder l'IA d'un point de vue humain en tenant compte des attributs, des conditions et des contextes multidimensionnels de l'être humain. Il convient de mentionner que l'utilisation de techniques avancées ne garantit pas en soi le développement du paradigme de l'IA habilitée et de l'apprenant en tant que leader. L'intégration de l'intelligence humaine et de l'intelligence de la machine peut aider l'intelligence artificielle pour l'éducation à passer des paradigmes un et deux au paradigme trois. Il s'agit de concevoir des modèles d'IA en temps réel qui peuvent intégrer des techniques de collecte et d'analyse de données multimodales, afin d'intégrer la cognition, la pensée et le jugement humains.

### 2.1.3 Les effets négatifs du numérique dans l'enseignement

L'utilisation excessive d'Internet et des technologies numériques peut avoir des conséquences néfastes sur la vie personnelle et universitaire des étudiants. En ce sens, la littérature fournit des preuves des prédicteurs et des altérations

comportementales associés à une utilisation excessive du Web [741] et des smartphones [201].

La consommation du numérique augmente à grande vitesse. Dans les pays occidentaux, dès deux ans, les enfants cumulent chaque jour presque trois heures d'écran en moyenne, et ce temps évolue de manière exponentielle avec l'âge [197]. En 2021, une étude bibliométrique des articles sur les effets négatifs de la technologie numérique dans l'éducation a été publiée [807]. La littérature scientifique montre que l'utilisation excessive de la technologie peut avoir des effets néfastes sur les processus d'enseignement et d'apprentissage. Hattie [334], sur la base d'une méta-analyse portant sur un échantillon de plus de 300 millions d'étudiants, a constaté que la technologie n'améliore pas sensiblement le développement académique des étudiants, la taille de l'effet n'étant pas supérieure à 0,40 dans la plupart des cas analysés. Les principaux inconvénients tournent autour de l'impact négatif des conversations par textos, en raison de la perturbation et de la distraction qu'ils provoquent dans les activités scolaires à l'intérieur et à l'extérieur de la classe, ainsi que de la réduction de la concentration [367]. En ce sens, les élèves qui apportent des appareils numériques en classe (smartphone, ordinateur portable ou tablette) ont des niveaux de distraction plus élevés, car ils consultent constamment les réseaux sociaux et sont stimulés par des contenus numériques. Par conséquent, ils sont plus susceptibles d'obtenir de mauvais résultats scolaires. Toutefois, il faut préciser que les études montrent une corrélation négative minimale entre l'utilisation des médias sociaux et les bons résultats scolaires à l'université.

Il est important de noter que la différence entre les résultats négatifs et positifs dépend des modes d'utilisation de la technologie. Dans une université canadienne, Gaudreau et al. [285], ont mené une étude pour examiner ce que les étudiants font sur leurs ordinateurs portables pendant les cours et dans quelle mesure les comportements d'utilisation des ordinateurs portables sont associés à la réussite scolaire. Ils ont conclu que les élèves utilisent leurs ordinateurs portables pour des tâches liées ou non à l'école pendant les cours, contredisant ainsi l'impression que les ordinateurs portables devraient être totalement interdits dans les salles de classe. De plus, les comportements d'utilisation de l'ordinateur portable semblent être importants car ils sont significativement associés aux

indicateurs de la réussite scolaire. Par conséquent, il n'existe pas de consensus concernant les avantages (ou les inconvénients) de l'utilisation d'ordinateurs portables à des fins éducatives. Ils ont conclu que les comportements d'utilisation des ordinateurs portables devraient être considérés comme une cible importante qui devrait faire partie des programmes de prévention psycho-éducatifs sur les campus. Les étudiants doivent être informés et apprendre les manières socialement, pédagogiquement et éthiquement appropriées d'utiliser leurs ordinateurs portables, tablettes et téléphones intelligents pendant les cours. Les professeurs doivent être informés à la fois des avantages potentiels et des défis résultant de la prolifération des salles de classe sans fil dans l'enseignement supérieur.

Au-delà de l'utilisation des ordinateurs portables, de nombreuses études ont également exploré l'impact négatif du multitâche médiatique avec les smartphones sur les performances scolaires [17, 133]. Certaines études démontrent un lien entre l'utilisation addictive du téléphone et les mauvaises notes [210] en fonction de la nature de l'utilisation du smartphone par les adolescents (comme la dépendance). Au total, quelques indicateurs suggèrent que les smartphones peuvent perturber l'apprentissage bien plus qu'ils ne lui sont bénéfiques.

Une possible cause des perturbations par le biais des outils numériques c'est « la peur de rater quelque chose ». Une étude de 2021 [270] a évalué l'influence du phénomène appelé peur de manquer ou de rater quelque chose (*fear of missing out* en anglais ou FOMO) sur les étudiants de l'Université du Koweït. La peur de manquer décrit la situation dans laquelle un étudiant ne peut résister à l'utilisation de son smartphone pendant les cours en raison de son désir de ne rien manquer de ce qui se passe, notamment sur les médias sociaux. L'étude visait également à déterminer si la peur de manquer quelque chose était un facteur prédictif de la distraction de l'attention et du désengagement de l'apprentissage chez les étudiants. Le niveau de peur de rater quelque chose était élevé chez les étudiants et fortement corrélé avec la distraction de l'attention et le désengagement de l'apprentissage. Aucune corrélation significative n'a été trouvée entre la peur de rater quelque chose et le parcours scolaire des étudiants.

Bien que les recherches concernant les impacts cognitifs potentiels de la technologie des smartphones soient de plus en plus nombreuses, les résultats restent contradictoires et peu concluants [477, 841]. Les résultats parfois contra-

dictoires suggèrent que toutes les utilisations des smartphones ne sont pas égales ; certaines applications, approches du multitâche ou paramètres de notification peuvent modérer la relation entre l'utilisation globale des smartphones et diverses aptitudes cognitives. Étant donné que l'utilisation des smartphones est très différente, on peut supposer que différentes fonctions cognitives sont pertinentes en fonction de l'application utilisée (par exemple, la télécommunication, la navigation, le multimédia, etc. En ce qui concerne les processus attentionnels, on peut supposer que les effets liés aux smartphones dépendent du comportement individuel d'utilisation et, plus important encore, varient entre les domaines respectifs (par exemple, l'attention sélective, l'attention divisée).

Un thème central se dégage de la littérature existante : différentes caractéristiques de la technologie et différents types d'utilisation contribuent de différentes manières aux résultats cognitifs [808]. La technologie ne doit pas être considérée comme un stimulus homogène ou neutre. De même, les différences individuelles telles que l'âge, les capacités cognitives, l'expérience antérieure, l'intérêt et la motivation influencent la manière, le moment et la raison pour lesquels les individus utilisent la technologie, ainsi que les avantages ou les inconvénients qui peuvent en découler. Tous les individus ne sont pas affectés de la même manière par la technologie, tout comme toutes les technologies n'affectent pas la cognition de manière globale et persistante. Ces résultats soulignent les limites de la généralisation des différentes activités sur écran lors de l'examen des implications cognitives des technologies numériques. La littérature existante suggère que les implications cognitives de l'utilisation de la technologie numérique sont modérées par trois facteurs connexes : les considérations de temps et d'âge, le degré d'engagement et de contrôle de l'utilisateur et l'utilisation alternative du temps.

## 2.2 Numérique dans l'enseignement de la musique

Les outils numériques tels que les applications et les logiciels sont devenus presque omniprésents dans notre vie quotidienne grâce aux smartphones, aux tablettes et aux ordinateurs personnels. Ces outils nous permettent d'accomplir une grande variété de tâches allant de la gestion des données, à l'achat et la vente

de biens et même au divertissement.

En musicologie, les outils numériques ont amélioré la profondeur à laquelle une œuvre peut être analysée. De l'utilisation des fichiers audio numériques au développement des algorithmes de recherche d'information musicale (*Music Information Retrieval* ou MIR), l'utilisation de la technologie modifie la façon dont la musicologie est étudiée en tant que discipline [164]. Ces outils peuvent aider un chercheur humain à surmonter des tâches difficiles telles que la complexité du matériau musical étudié, la densité et l'intrication de ses structures, la nature collaborative du processus créatif, le recours à des processus algorithmiques et l'exploration d'instruments de musique numériques ou hybrides. Ces défis nécessitent souvent des approches non conventionnelles et peuvent nécessiter l'adaptation ou le développement de nouvelles méthodologies provenant d'autres domaines tels que les mathématiques, l'informatique ou l'acoustique musicale.

Les applications mobiles pour l'apprentissage auditif et musical existent depuis plusieurs années (EarMaster a été lancé en 1996 [224] et Musition en 1997 [735] mais ces logiciels sont loin d'être les premiers essais d'apprendre des contenus musicaux par ordinateur [406]). Elles ont été développées principalement par des informaticiens avec des approches pédagogiques adaptées principalement des méthodes d'apprentissage auditif « atomistiques » (selon Gary Karpinsky [406]). L'objectif a le plus souvent été d'évaluer la compétence des apprenants dans la reconnaissance d'intervalles, d'accords, de cadences, de gammes, etc. La plupart du temps, les sons utilisés étaient des émulations de pianos (pianos midi).

L'utilisation du numérique dans le monde professionnel musical est relativement en phase avec les développements technologiques, pourtant l'intégration des nouvelles technologies dans l'enseignement musical est en retard [419, 686]. Pourtant les outils numériques pourraient devenir un outil de soutien au développement individuel de l'audition en complément au cours de formation auditive. De cette manière les enseignants pourraient dédier leur temps en classe pour traiter des problèmes et approfondir les stratégies d'apprentissage [62].

En France, Pascal Terrien [771] identifie un décalage entre les développements informatiques, la démocratisation d'appareils numériques et leur utilisation dans les cours d'éducation musicale depuis la fin des années 1980. Selon



lui, une meilleure intégration dans les cours de musique pourrait être possible grâce aux technologies d'accès ouvert. Ce changement pourrait signifier un changement dans le rapport étudiant-enseignant-contenu.

### 2.2.1 Possibilités d'optimisation d'apprentissage

Les outils numériques peuvent présenter plusieurs avantages comme un soutien à l'information traitée pendant les cours. Les étudiants ont une croissante possession d'appareils mobiles qui permettent l'utilisation des logiciels puissants, même quand ils ne disposent pas d'un ordinateur avec accès internet. Les smartphones restent le principal accès à l'internet en France [26]. Cela ouvre une porte d'accessibilité aux ressources éducationnelles [131]. Sylvaine Martin De Guise [517] a présenté un article sur l'*e-learning* musical. Elle constate en 2009 deux cours universitaires (à l'université Laval à Québec et à l'université de Paris 8) qu'utilisent des ressources numériques pour la formation auditive. Elle identifie aussi des modalités d'enseignement avec un support numérique comme l'enregistrement sur vidéo du cours ou les cours combinant des fichiers texte, audio et images. Cependant elle met le point sur la qualité « d'autoformation » de l'*e-learning*. Cela ne remet pas en question le besoin du contact avec le professeur, or le mode de fréquentation et de communication est différent. Un aspect important soulevé par Huang et Chu [372] est le soutien en distanciel aux élèves. Le temps supplémentaire pourrait être utile dû au nombre d'heures de cours souvent limité. Cette possibilité d'amélioration est présente notamment dans le cas d'activités qui bénéficient spécialement d'une rétroaction immédiate comme la reconnaissance d'accords, d'intervalles, de gammes, de formules harmoniques, etc. Un aspect positif présenté par une application pour optimiser les apprentissages auditifs est la « *gamification* » ou ludification de l'apprentissage. Plusieurs articles ont analysé les effets positifs d'une approche ludique à l'apprentissage [599, 134, 630, 59, 143].

Chou a proposé un modèle pour la ludification du contenu et de son importance pour la motivation et l'engagement [143]. Des évaluations sur l'efficacité de cette approche ont montré qu'il aide l'élève à obtenir de meilleurs résultats académiques et un engagement plus fort avec la matière.

Le cadre Octalysis de Yu-kai Chou décompose la gamification en huit moteurs principaux, offrant un outil pour améliorer l'engagement et la motivation [143]. Le moteur du « Sens Épique et d'Appel » rassemble les participants dans des projets communautaires comme Wikipedia. Le moteur « Développement et Accomplissement » motive intrinsèquement en surmontant des défis, utilisant des récompenses telles que des points et des badges. Le moteur appelé « Pouvoir de Créativité et Feedback » encourage l'expression et la rétroaction, similaire au plaisir de construire ou peindre. Le moteur de « Possession et Propriété » incite à améliorer et accumuler des biens virtuels. Le moteur d'« Influence Sociale et Connexion » exploite la dynamique sociale pour motiver. La « Rareté et l'Impatience » jouent sur le désir d'objets rares. L'« Imprévisibilité et Curiosité » stimulent le désir de découvrir. Enfin, le moteur de « Perte et Évitement » évite les résultats négatifs. Le cadre vise à créer des expériences engageantes et productives, cherchant à rendre les activités intrinsèquement gratifiantes pour améliorer la qualité de vie et la productivité.

Les jeux sérieux ont reçu une attention accrue dans les derniers 20 ans pour l'apprentissage interdisciplinaire des sciences. Gee a enrichi le regard sur l'utilité des jeux comme un stimulateur de l'apprentissage [290]. Selon lui, les aspects possibles d'optimisation d'une formation à travers une application web d'enseignement sont :

- L'adaptation aux besoins des élèves : Les forces et faiblesses de chaque étudiant peuvent être suivies en temps réel afin que le niveau d'information et d'évaluation le plus approprié soit présenté. Par conséquent, les contenus restent pertinents aux élèves.
- L'engagement proactif et continu des étudiants : Contrairement aux approches conventionnelles qui comprennent quelques examens à enjeux élevés tout au long du semestre, une application utilise des exercices à faibles enjeux qui encouragent l'entraînement quotidien en créant un environnement d'auto-motivation pour l'étudiant.
- La mobilité et l'accès sans restriction : Les étudiants et les enseignants peuvent accéder à l'outil indépendamment de leur localisation, préférence temporaire, et plate-forme informatique (appareil, système d'exploitation et navigateur web).

- Des éléments de motivation ludiques et amusants : Des expériences au rythme rapide et des récompenses amusantes suscitent, au fil du temps, de l'intérêt et de l'auto-motivation. Ces éléments sont essentiels pour retenir les étudiants et garantir leur réussite et leur achèvement dans les délais.

Al-Othman et ses collègues [599] affirment qu'une application web d'apprentissage peut répondre aux besoins d'élèves et d'enseignants. Les élèves augmentent leur chance de réussir malgré leur niveau initial des connaissances et leur style et vitesse d'apprentissage. Les enseignants peuvent également plus rapidement identifier les étudiants qui ont des difficultés et leur proposer un soutien pertinent.

Un aspect positif fondamentale soulevé par Terrien [771] est le changement de nature dans la relation pédagogique. Dans son analyse sur l'utilisation de musique assisté par ordinateur (MAO) pour les cours de formation musicale, il met en considération l'effet de la manipulation sonore dans un niveau approfondi. L'objet musical est en relation avec d'autres objets du savoir et les élèves découvrent une manière différente de produire des sons et de le concevoir. L'enseignant est un médiateur qui se trouve, lui aussi, dans la recherche-action et compréhension de l'expression musicale sur le plan des textures sonores.

### 2.2.2 Enseignement programmé

L'enseignement programmé trouve son origine dans une publication de 1954 [727], et il a rapidement connu un succès mondial dès les années 1960 [353]. Bien que le psychologue américain Thorndike [782] ait élaboré une méthode d'auto-instruction pour les élèves, c'est Skinner, avec sa théorie de l'apprentissage des comportements, qui est généralement considéré comme le fondateur de l'enseignement programmé. Sa théorie repose sur le renforcement des comportements souhaitables par le biais de récompenses. Cette méthodologie s'est avérée extrêmement efficace pour l'armée américaine de l'époque et pour de nombreuses grandes industries à la fin des années 1950.

Le programme vise à individualiser l'enseignement, et ses principes fondamentaux incluent la réponse effective, le renforcement immédiat de la réponse,

la progression étape par étape, la répétition et une cadence de progression individualisée. Ce type d'enseignement vise à utiliser des machines ou des livres programmés pour faciliter l'apprentissage.

Gustave Crépeau évoque dans son article de 1972 la rédaction d'un programme d'enseignement [173], exposant six étapes essentielles dans ce processus :

Tout d'abord, le programme nécessite une détermination précise des individus auxquels il est destiné. Ensuite, les objectifs doivent être formulés de manière concrète, avec une évaluation explicite et tangible. Le troisième point concerne la préparation d'un test initial et d'un test final. Le premier permet d'évaluer le niveau de connaissances initial, tandis que le second met en lumière le niveau d'apprentissage atteint grâce au programme.

Le quatrième aspect porte sur l'organisation logique de la séquence du programme, où le rédacteur propose une progression cohérente dans l'acquisition des connaissances par l'apprenant. Cette organisation, temporaire, est validée par l'étudiant utilisant le programme.

La rédaction du contenu du programme, ainsi que son agencement et sa gradation, constitue le cinquième aspect. Durant cette phase, l'auteur soumet des sections du programme aux étudiants pour des corrections, les amenant systématiquement à formuler des réponses avec une rétroaction immédiate sur la qualité de leurs réponses.

Le sixième aspect concerne la validation du programme, évaluant son efficacité, son niveau de réussite acceptable, ses conditions d'utilisation, etc. Néanmoins, Crépeau reconnaît les éventuelles faiblesses d'un système pouvant devenir atomiste, mécanique et monotone.

Deux travaux de recherche remarquables sur l'utilisation de l'enseignement programmé en musique sont ceux de Charles Spohn [743] et James Carlsen [119]. Ils ont utilisé principalement des réponses de type verbal ou symbolique.

L'avènement des ordinateurs personnels dans les années 1970 par IBM et Apple, aux côtés du développement des systèmes d'exploitation comme DOS, Windows et Linux, a marqué un bond significatif dans les outils éducatifs [795]. L'introduction du système PLATO IV en 1972 a amené l'enseignement assisté par ordinateur ( *computer-assisted instruction* - CAI) et les écrans tactiles dans les

salles de classe, annonçant une nouvelle ère d'apprentissage interactif malgré les préoccupations concernant les impacts potentiels sur le développement social. La création subséquente de réseaux informatiques locaux dans les écoles et le lancement du *World Wide Web* ont catalysé la transformation de l'apprentissage en une expérience véritablement interactive. Des logiciels comme « JumpStart » et des initiatives comme les académies de réseau de *Cisco Systems* ont encore exemplifié l'intégration de la technologie dans l'éducation, offrant des expériences d'apprentissage adaptées et pratiques à travers divers sujets et compétences.

La progression vers les paradigmes d'apprentissage en ligne et mixtes a été soutenue par des cadres théoriques mettant l'accent sur l'apprentissage basé sur l'activité, constructiviste et situationnel. Ces perspectives plaident pour une approche plus holistique de l'éducation, guidée par la compréhension à travers des expériences d'apprentissage individuelles et sociales [678]. Avec la prolifération d'internet et des technologies basées sur le web, les éducateurs ont été présentés avec des opportunités sans précédent pour atteindre des publics plus larges et répondre à des besoins d'apprentissage variés, inaugurant une ère de technologie interactive et d'applications basées sur le web qui enrichissent le processus d'enseignement et d'apprentissage.

### **2.2.3 Enseignement de la musique programmé et assisté par ordinateur en France**

En 1974, le psychologue Robert Francès s'inscrit dans le courant pédagogique de « l'enseignement programmé » en publiant une étude sur l'enseignement du solfège [264]. Son objectif était de créer, à l'aide d'une vérification expérimentale, des séquences d'apprentissage progressives. Celles-ci visaient à dépasser l'aspect empirique des méthodes musicales existantes, qu'elles soient traditionnelles ou actives. Francès avait conçu sa méthode à partir de la théorie d'apprentissage de Skinner (on fait un récapitulatif des théories de l'apprentissage dans un prochain chapitre). Il a créé une méthode expérimentale pour enfants et adultes où, avec l'aide d'un magnétophone, les individus pouvaient apprendre de manière indépendante à maîtriser la lecture à vue, dictée et reconnaissance d'erreurs de la gamme majeure. Les exercices visaient à construire une acculturation tonale

de manière systématique.

En 1979, Jean-Pierre Mialaret publie sa thèse doctorale sur l'apprentissage musical et l'enseignement programmé [547]. Dans cet ouvrage, il décrit son expérience d'enseignement programmé de la flûte à bec comme une approche structurée avec des objectifs clairs. Il s'appuie sur les bases théoriques du travail de Robert Francès pour l'enseignement du langage musical. L'objectif de la méthode d'étude est de permettre à un individu d'apprendre seul des contenus précis, d'une manière contrôlée et systématique. Le contenu d'apprentissage dans l'ouvrage de Mialaret est la maîtrise de la lecture des notes musicales et des doigtés correspondants à la flûte à bec. Le programme d'apprentissage décrit utilise le magnétophone pour avoir une référence auditive de l'objectif et pour enregistrer les réponses.

Au cours de l'expérience, Mialaret a étudié quatre variables liées au processus d'acquisition : l'évolution des contrôles perceptifs, le rôle du nom de la note, l'organisation du contenu d'apprentissage, et l'influence de la connaissance des doigtés et de la lecture de notes sur la musicalité générale. Il a conclu que :

- L'apprentissage des doigtés passe d'être corrigé par la vue à être corrigé par le toucher.
- Le nom de la note sert de lien entre la représentation écrite sur la portée et le doigté correspondant.
- L'apprentissage de la lecture des notes et des rythmes est plus efficace quand les deux éléments sont intégrés que quand ils sont séparés.
- L'apprentissage des doigtés et de la lecture des notes amène à l'amélioration d'autres tâches musicales.

L'enseignement programmé a également suscité une forte curiosité dans les institutions en France depuis la fin des années 1980. En 1992, le Ministère de l'Éducation nationale s'est associé à de grandes institutions de recherche musicale, telles que l'IRCAM (Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique), le GRM (Groupe de Recherches Musicales) et MIM (Musique et Informatique de Marseille), afin de produire des contenus éducatifs musicaux adaptés au système scolaire français. Ces institutions ont créé des logiciels permettant la manipulation et l'expérimentation de divers aspects musicaux, dont certains ont été conçus pour l'éducation nationale [517].

En 2000, l'IRCAM publie « 10 jeux d'écoute », un cédérom éducatif et ludique conçu pour renforcer la perception auditive et le sens du son [382]. Développé par l'Ircam et apparu chez Editions Hyptique.net, il propose dix exercices variés destinés à apprendre à reconnaître, écouter, manipuler et mémoriser les sons électroniques et acoustiques. Adapté aux enfants âgés d'au moins 8 ans, mais également enrichissant pour les adultes, ce programme exige une concentration soutenue. Chaque exercice, élaboré grâce aux logiciels de création musicale de l'Ircam, offre une expérience unique, allant de la classification des sons à la synchronisation de l'image et du son. Un guide pédagogique de 44 pages accompagne le cédérom, expliquant les concepts abordés et proposant des suggestions pour approfondir l'apprentissage.

Un autre exemple remarquable est Pompilooop, destiné à la création musicale pour un jeune public [779]. Le logiciel proposait une interface intuitive pour l'organisation de sons et la transformation sonore. Le logiciel permettait d'enregistrer, d'éditer l'audio et de créer des montages sonores de manière accessible aux enfants.

Dans son ouvrage [291], Étienne Gégout, professeur d'éducation musicale et coordinateur du réseau TICE Éducation Musicale, expose les sept classes d'outils essentiels pour les professeurs d'éducation musicale, auxquels Jean-Marc Maurer ajoute une huitième classe, le cartable électronique. Ces classes comprennent des outils variés, tels que des logiciels de création musicale comme MusiqueLab, des séquenceurs MIDI tels que Cubase, des éditeurs de partitions comme Finale, des éditeurs audionumériques comme Sound Forge, des arrangeurs tels que Band In Box, des logiciels de présentation comme Asymétrie Présentation, et des bancs de montage multimédia comme Music Maker. Chaque classe d'outil offre des fonctionnalités spécifiques permettant d'explorer et de manipuler divers aspects de la musique. En outre, le cartable électronique représente l'ensemble des outils numériques mis à disposition des étudiants, comprenant notamment un ordinateur portable, un accès à Internet et des logiciels appropriés. Ces outils modernes de l'époque facilitaient l'enseignement et l'apprentissage de la musique en offrant aux enseignants et aux élèves des moyens innovants pour explorer et créer de la musique.

L'innovation technologique a continué d'avancer rapidement, pénétrant tous

les aspects de la société, y compris l'éducation musicale. Avec l'utilisation généralisée des tablettes, des smartphones et des applications matérielles et logicielles de plus en plus sophistiquées, les opportunités d'apprentissage et de création musicale sont continuellement améliorées. L'émergence des plateformes de médias sociaux a également facilité le développement de communautés d'apprentissage facilitées par la technologie. Malgré la reconnaissance des avantages de la technologie dans l'apprentissage des élèves, il existe encore un décalage entre la musique et la technologie dans les programmes scolaires, les lignes directrices étant souvent vagues et limitantes. L'intégration de la technologie musicale dans le programme a été préconisée dans diverses revues, soulignant la nécessité d'intégrer la technologie dans l'éducation musicale à tous les niveaux et de l'incorporer aux programmes de formation des enseignants et de développement professionnel. Cependant, la réalisation de ces recommandations repose sur les compétences individuelles des enseignants, leurs préférences et leur motivation à intégrer des approches basées sur la technologie dans l'éducation musicale.

#### **2.2.4 Enseignement de musique assisté par ordinateur**

Depuis les années 1960, le monde de l'enseignement musical a connu les premiers développements informatiques visant à le soutenir [226]. L'enseignement assisté par ordinateur (EAO) est ainsi étroitement lié aux théories de l'enseignement programmé, car il a pris ses bases théoriques dans ce domaine. Les recherches dans le domaine de l'enseignement musical assisté par ordinateur ont donné lieu à un large corpus d'articles. Beaucoup de ces recherches se sont intéressées aux exercices de dictée mélodique, rythmique et au chant à vue.

Un des premiers exemples est le logiciel SmartMusic, fruit d'un long travail de recherche débuté à l'université Stanford et documenté en 1967 par Kuhn et Allvin [448]. L'aspect innovant de ce projet réside dans l'utilisation d'un microphone pour enregistrer les réponses au programme d'instruction. L'idée d'appliquer l'enseignement programmé à la formation auditive était de la rendre plus objective. L'étudiant écoutait un stimulus, chantait la réponse à une question sur un microphone qui enregistrerait la réponse pour ensuite la numériser. Ce résultat numérique était comparé par un algorithme à la réponse correcte, ce qui



donnait le signal de passer à un contenu plus complexe ou de répéter l'exercice. Les participants à cette étude ont montré une motivation supplémentaire dans leur apprentissage et se sont montrés favorables à l'évaluation de leur réponse par une machine.

John Eddins a recensé la littérature concernant l'enseignement assisté par ordinateur en 1981 [226]. À l'époque, plusieurs projets étaient de nature expérimentale, car le déploiement de ces projets disposait des ressources informatiques et logistiques limitées. Un projet remarquable est PLATO [631], un système d'enseignement assisté par ordinateur créé en 1960 à l'université d'Illinois. Ce projet envisageait déjà l'utilisation de la rétroaction visuelle pour guider la performance musicale, un accompagnement personnalisé et la mesure des résultats du cours grâce à une analyse longitudinale. Un autre projet qui a attiré beaucoup d'attention est GUIDO, un système d'enseignement de formation auditive développé en 1974 à l'université du Delaware [354]. Il a été intégré au cours de formation auditive de plusieurs universités américaines après la publication d'un article démontrant son efficacité par rapport à la méthode traditionnelle. Diverses études sur la perception musicale ont été menées grâce aux logiciels de formation auditive de l'époque. Il faut noter que les exercices de formation auditive où les éléments musicaux étaient présentés de manière très séparée les uns des autres et du contexte musical faisaient partie de ces programmes d'enseignement ainsi que de la formation auditive de l'époque.

Dans les années 1970, la réflexion critique sur les médias de masse a gagné en importance, ce qui a conduit à l'incorporation de la télévision et d'autres outils de médias de masse dans l'éducation musicale, parallèlement à l'introduction d'instruments électriques reflétant les tendances musicales de l'époque. Les années 1980 ont vu un changement vers l'exploration de l'esthétique et de l'éthique dans l'éducation musicale, aux côtés de l'adoption généralisée de la vidéo, de la culture audiovisuelle et des clips musicaux comme supports pédagogiques [676]. Cette période a également marqué l'émergence de synthétiseurs, de logiciels musicaux pour ordinateurs et de l'éducation musicale assistée par ordinateur dans les ordinateurs de bureau.

L'introduction des micro-ordinateurs a révolutionné l'éducation musicale en élargissant la gamme d'applications basées sur la technologie disponibles pour

les entreprises créatives. Avec les logiciels de synthèse musicale et de séquençage basés sur l'ordinateur, les étudiants ont pu passer des équipements de studio traditionnels à des environnements informatiques autonomes, offrant des outils de composition plus accessibles et autonomisants. Le développement ultérieur de MIDI a encore amélioré les capacités des étudiants, permettant une entrée musicale en temps réel et en pas à pas, ainsi qu'une lecture instantanée des idées de composition [749].

Terrapin Logo [737], développé au début des années 1970 par Seymour Papert et son équipe du Laboratoire d'Intelligence Artificielle du *Massachusetts Institute of Technology*, a révolutionné l'éducation informatique précoce en permettant aux enfants de programmer un robot tortue cybernétique pour créer des formes géométriques sur un écran d'ordinateur. largement utilisé dans les écoles primaires et secondaires inférieures, Logo a été salué comme un « langage d'apprentissage », favorisant un apprentissage actif et autodirigé. Une caractéristique notable était le Mode Musique de Logo, développé par Jeanne Bamberger [49], permettant aux élèves d'apprendre à la tortue à créer des mélodies. Music Logo, promu plusieurs écoles anglophones dans les années 1980, a ouvert la voie à d'autres programmes de musique créative, tels que Musicland et Melodyland, qui ont permis la production de musique polyphonique en Australie. En Australie, les éducateurs musicaux étaient activement impliqués dans le développement de logiciels, créant des programmes comme Sing et des programmes EAO axés sur les concepts musicaux. Pendant ce temps, au Royaume-Uni, l'éducation musicale basée sur la technologie mettait l'accent sur la création musicale en groupe à l'aide de logiciels de séquençage et de notation avancés, de claviers MIDI et de modules sonores [274]. De même, l'Australie a adopté la création musicale avec une gamme d'instruments musicaux informatiques, encourageant les enseignants à investir dans un équipement approprié pour une utilisation en classe [749].

Au début des années 1990, les développeurs de logiciels musicaux aux États-Unis ont commencé à utiliser HyperCard, une application logicielle développée pour les ordinateurs Apple Macintosh et Apple IIGS [115]. HyperCard permettait l'intégration de diverses formes d'hypertexte, comprenant du texte, des animations, de la musique préenregistrée, des discours, des contenus vidéo et

la production de son MIDI, dans une séquence de « cartes » interactives. Des programmes d'apprentissage musical produits commercialement, tels que *Listen* et *Ludwig van Beethoven Symphony No. 9*, ont adopté un format similaire, offrant des exercices de pratique et d'écoute musicale. Avec le soutien des subventions du Fonds de Développement Universitaire d'Apple, des programmes HyperCard sur la notation musicale et les styles musicaux ont été développés pour les supports de cours universitaires. De plus, des développeurs de logiciels de Melbourne ont créé des programmes d'apprentissage auditif et de théorie musicale tels que Auralia et Musition, qui ont rencontré un grand succès au niveau local et international. Alors que l'internet devenait de plus en plus disponible dans le monde, les universités ont adopté la technologie pour l'enseignement et la recherche, ouvrant la voie à des approches innovantes de l'éducation musicale. Cette période a également vu la promotion de la technologie en tant que moyen d'enseignement et d'outil de production musicale, ainsi que la reconnaissance de son potentiel en tant que ressource d'information.

L'innovation technologique a continué d'avancer rapidement, pénétrant tous les aspects de la société, y compris l'éducation musicale. Avec l'utilisation généralisée des tablettes, des smartphones et des applications matérielles et logicielles de plus en plus sophistiquées, les opportunités d'apprentissage et de création musicale sont continuellement améliorées. L'émergence des plateformes de médias sociaux a également facilité le développement de communautés d'apprentissage facilitées par la technologie. Malgré la reconnaissance des avantages de la technologie dans l'apprentissage des élèves, il existe encore un décalage entre la musique et la technologie dans les programmes scolaires, les lignes directrices étant souvent vagues et limitantes. L'intégration de la technologie musicale dans le programme a été préconisée dans diverses revues, soulignant la nécessité d'intégrer la technologie dans l'éducation musicale à tous les niveaux et de l'incorporer aux programmes de formation des enseignants et de développement professionnel. Cependant, la réalisation de ces recommandations repose sur les compétences individuelles des enseignants, leurs préférences et leur motivation à intégrer des approches basées sur la technologie dans l'éducation musicale [750].

**Cadre théorique pour l'intégration de la technologie d'éducation musicale**

Matthew Koehler et Punya Mishra ont présenté en 2006 un cadre théorique pour l'intégration de la technologie dans l'enseignement (*Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)*) [553]. Ce modèle répond à leur perception d'un système éducatif déjà complexe et assez chaotique. Selon eux, l'éducation des enseignants s'est historiquement centrée sur les contenus à maîtriser. Plus récemment, l'attention s'est portée sur la pédagogie, puis sur l'intégration des méthodes pédagogiques avec le contenu, c'est-à-dire sur la manière de formuler la matière pour la rendre accessible aux autres. Dans cet écosystème, l'intégration des technologies analogiques et numériques complexifie davantage l'enseignement.

Le cadre TPACK décrit une interaction complexe entre trois corps de connaissances : le contenu, la pédagogie et la technologie. Koehler et Mishra proposent l'approche de l'apprentissage de la technologie par la conception, qui met l'accent sur l'apprentissage par la pratique, et moins sur les cours magistraux et l'enseignement traditionnel. La conception s'apprend en devenant un praticien, même si c'est pour la durée du cours, et pas seulement en apprenant sur la pratique. L'apprentissage par la conception incarne un processus présent dans la construction d'artefacts (tels que des cours en ligne, des vidéos numériques, etc.), qui se situe souvent dans l'interaction entre la théorie et la pratique, entre les contraintes et les compromis, entre le concepteur et les matériaux, et entre le concepteur et le public. Le rôle principal de l'enseignant devient celui d'un facilitateur et d'un expert en résolution de problèmes plutôt que d'un expert en contenu.

Dans ce contexte, Bauer [63] a proposé l'utilisation des nouvelles technologies pour la transformation et l'augmentation des tâches pédagogiques liées à la musique. Il propose par exemple l'utilisation du logiciel SmartMusic pour améliorer la pratique instrumentale. Ce logiciel permet aux enseignants d'envoyer des partitions aux étudiants pour qu'ils puissent pratiquer et s'enregistrer. Il offre également aux étudiants une rétroaction immédiate sur les notes qu'ils ont jouées. Bauer propose aux enseignants d'utiliser les plateformes de streaming musical pour exposer un large répertoire aux élèves, ou les réseaux sociaux de partage de vidéos comme YouTube pour avoir un accès plus large aux per-

formances. Il propose également l'utilisation de logiciels d'enregistrement et l'exploration d'instruments virtuels.

L'approche d'apprendre à intégrer la technologie avec la pédagogie et le contenu musical à travers l'élaboration de matériel a été implémentée avec succès dans des formations d'enseignants [769]. Cette approche pratique de l'utilisation de la technologie pour la création de contenus s'avère une voie prometteuse pour une meilleure intégration de la technologie dans l'enseignement.

### 2.2.5 Outils numériques pour l'apprentissage musical

A continuation nous allons présenter des exemples des projets de recherche qu'ont abouti au développement d'outils numériques pour l'apprentissage musical sans se focaliser de manière spécifique à l'apprentissage auditif.

Un article de 2013 sur l'*e-learning* et les jeux sérieux pour l'apprentissage musical, rédigé par des chercheurs de l'université de Milan, présente le standard IEEE 1599 et son utilité dans ce domaine [59]. Ils citent l'application iClef comme exemple de jeu sérieux pour l'apprentissage de la lecture des partitions. Ce jeu affiche des notes sur une portée avec différentes clefs, et l'utilisateur doit les identifier rapidement sur un clavier similaire à celui d'un piano.

Ensuite, les chercheurs détaillent le standard IEEE 1599, un langage informatique permettant une description complexe de la musique. Cette norme facilite l'intégration des différentes couches d'information musicale, notamment les métadonnées, la structure et l'audio. Elle vise à être un format d'échange entre les applications et un agrégateur de contenus musicaux divers.

Pour illustrer les possibilités de ce standard, les chercheurs ont conçu un jeu sérieux où l'utilisateur peut écouter une pièce tout en suivant sa partition qui défile. Ce jeu comporte plusieurs étapes de suivi de partition, de la simple mise en évidence des notes à la détection de parties spécifiques dans une performance audio. Sa difficulté augmente progressivement avec des segments audio plus courts et des zones de partition plus petites.

Les applications liées à l'amélioration de la pratique et de la performance musicale constituent un domaine en pleine croissance. Un exemple est « Music Practice Browser » [736], un projet développé autour de quatre axes d'action :

- 1. Cartes des séances de pratique : Elles décrivent l'activité de pratique sous forme de distribution du matériel musical dans le temps.
- 2. Diagrammes d'arc : Les segments difficiles sont représentés sur un axe continu.
- 3. Diagramme du tempo-sonorité : Des graphiques tempo-luminosité permettent à l'utilisateur de visualiser et de suivre le développement de l'expressivité au cours des sessions de pratique.
- 4. Visualisation de notes sur le Piano-Roll : Il s'agit d'une représentation de rouleau de piano augmentée de marqueurs pour les notes correctes et incorrectes.

L'idée de cet outil est de favoriser l'analyse de la performance et de la manière dont les musiciens étudient en proposant une nouvelle visualisation de leur évolution. D'autres applications similaires à Music Practice Browser incluent Wolfie, Tonara Studio, Superscore et BandPad. Ces applications présentent la partition et identifient simultanément la musique jouée en signalant les erreurs de la performance. D'autres applications, comme Yousican et Fender Play, utilisent des mécanismes similaires d'écoute de la performance.

MakeMusic, les créateurs de Finale (un populaire logiciel d'édition des partitions) s'occupe du développement actuel du logiciel précédemment mentionné, appelé SmartMusic [509]. Ce logiciel web vise à rendre plus efficace le temps de pratique instrumentale. Le logiciel est basé sur l'idée que les étudiants profitent d'une rétroaction immédiate sur leur performance. Dans la pratique, un étudiant joue une partition qui s'affiche dans l'écran. Il a la possibilité d'ajouter un accompagnement ou d'écouter les sons qu'il est sensé de produire. Ensuite le logiciel va comparer ses résultats aux notes écrites dans la partition pour signaler les notes qui n'étaient pas joués d'accord à la partition. Les enseignants ont la possibilité d'écrire leurs propres compositions, ou d'utiliser un ample répertoire. Des articles sur SmartMusic montrent qu'il améliore la motivation d'étudiants et influence leur manière d'étudier [321, 254, 581]. SmartMusic est actuellement en utilisation par plusieurs institutions d'enseignement notamment aux Etats-Unis et Australia.

Upitis et Brook [799] ont présenté un article en 2017 sur un outil en ligne appelé iSCORE qui fournit un soutien à l'éducation musicale basé sur les idées

d'autorégulation des élèves. L'autorégulation de l'étudiant est un processus cyclique de planification, de réalisation et de réflexion sur la pratique. Cet outil vise à aider les élèves à se fixer des objectifs de pratique réalistes, à documenter leur travail entre les cours et à réfléchir aux progrès qu'ils réalisent. Le site web est une plateforme dans laquelle les élèves, les enseignants et même les parents peuvent interagir entre eux. L'outil a été intégré par de nombreux enseignants canadiens, ce qui a conduit à une évaluation complète de l'outil. Les élèves ont trouvé les points forts suivants dans l'utilisation d'iSCORE en comparaison aux réseaux sociaux pour l'apprentissage de musique :

- Réseau social axé sur la musique (en comparaison avec des plateformes comme Facebook ou Twitter)
- feedback de l'enseignant et des pairs
- écoute de son propre travail et réflexion
- sentiment de progrès grâce à la visualisation de l'accomplissement des parties difficiles
- aide à planifier la réalisation des tâches avant les échéances
- un regain de confiance en soi en regardant les progrès réalisés dans la maîtrise d'un morceau

Un groupe de chercheurs de l'Open University de Hong Kong a créé une application mobile pour l'apprentissage indépendant de la musique [580]. Dans leur application, ils proposent l'exploration des sonorités d'instruments de musique, des jeux musicaux et un cours interactif de théorie musicale. Le cours permet aux utilisateurs d'apprendre à reconnaître les sons des différents instruments, les notes sur le clavier et la notation musicale. Après le développement de l'application, une évaluation de sa performance perçue a été menée. Les chercheurs ont conclu que l'application augmente la motivation pour s'engager avec le contenu et que la ludification s'avère être une voie prometteuse pour l'apprentissage.

### 2.2.6 Liste d'outils numériques d'apprentissage auditif disponibles en 2024

Cette sous-section présente une liste non exhaustive d'outils numériques dédiés à l'apprentissage auditif et musical. Notre sélection se concentre sur les outils de formation auditive, à l'exclusion de ceux liés à la pratique instrumentale. Il est important de noter que cette liste a été établie en juin 2024 et est donc susceptible d'évoluer en fonction des mises à jour, des suppressions ou des nouvelles offres du marché. La recherche a été réalisée avec les marchés d'applications Google Play et l'App Store d'Apple, ainsi que des recommandations de logiciels et sites trouvés dans des blogs dédiés à la formation musicale.

## 2.3 Évolution du numérique dans l'apprentissage auditif

Dans cette section nous allons explorer l'évolution du numérique dédié à l'apprentissage auditif. Avec le but de faire une étude complète sur le sujet, nous avons fait une revue de la littérature disponible sur les outils numériques pour l'apprentissage auditif depuis les premiers essais expérimentaux jusqu'à nos jours.

Au 21<sup>e</sup> siècle, la prolifération des technologies de l'information et de la communication accroît l'utilisation des appareils numériques à des fins variées sur le lieu de travail et dans l'éducation formelle et non formelle. La technologie a transformé l'environnement éducatif à un rythme élevé au cours des dernières décennies avec la démocratisation des appareils mobiles et des réseaux sans fil. Cependant, la pandémie de Covid-19 a soudainement contraint les enseignants et les institutions à faire face aux avantages et, surtout, aux défis de l'éducation en ligne [278, 229]. Les enseignants de tous niveaux d'enseignement ont dû se familiariser avec les plateformes d'apprentissage en ligne, les logiciels de visioconférence, les Cours en Ligne Ouverts et Massifs (*Massive open online courses* ou MOOCs), la messagerie instantanée et les applications éducatives.

Même si des concepts tels que l'apprentissage mixte [171, 229](apprentissage



Nom	Développeur	iOS	Android	Web	Accès
ABRSM Aural Trainer	ABRSM	x			Freemium
Active Ear - Ear Trainer	Warren McPherson	x	x		Freemium
Apprendre le solfège	Apprendre le solfège			x	Freemium
Auditory Training	Thais Zemlickas Silva	x	x		Freemium
Aural Wiz	JSplash Apps	x	x		Freemium
AURALBOOK for ABRSM	Playnote Limited	x	x		Freemium
Auralia	Rising Software	x	x	x	Payant
Auricula : Interval Ear Trainer	Simon Braun	x	x		Freemium
Better Ears - Ear Trainer	MAMP GmbH	x	x		Payant
Big Ear : Learn & Make Music	Big Ear Games	x	x		Freemium
Blob Chorus	eChalk			x	Gratuit
Chet - Ear Training	Hirsh Group LLC	x			Freemium
ChordProg Ear Trainer	DevDa AS	x	x		Freemium
Complete Ear Trainer	Binary Guilt Software	x	x		Freemium
Complete Music Reading Trainer	Binary Guilt Software	x	x		Freemium
Complete Rythm trainer	Binary Guilt Software	x	x		Freemium
Dictées musicales en ligne	Jean-Baptiste Voinet			x	Payant
DoReMi Music Academy	Fredo Games	x	x		Freemium
Ear Guru	Dan Tepfer	x			Payant
Ear Trainer Lite	thoor software AB	x	x		Payant
Ear training : notes and chords	Alexey Ovod	x			Freemium
EarBeter	Subree I/S	x		x	Payant
EarForge : Learn Ear Training	Playnote Limited	x	x		Freemium
EarMaster Pro	EarMaster ApS	x	x	x	Freemium
Earpeggio	Blazing Apps Ltd	x	x	x	Freemium
Ears to Hear	Alexey Ovod	x			Freemium
Ella : Sight Singing & Reading	Hirsh Group LLC	x			Freemium
ET - Ear Trainer	Daniel Schenker	x	x		Payant
Functional Ear trainer	Kaizen9 Apps	x	x	x	Freemium
GNU Sofège	Free Software Foundation			x	Freemium
Good Ear Pro	Pascal Weiss				Payant
Good-Ear	Martin Schoeberl			x	Freemium
Harmonomics Ear Training	John Nastos	x	x		Payant
Hearing : ear training Piano	Alexey Ovod	x			Freemium
Interval Ear Training	262Hz LLC	x			Freemium
Intervals : ear training tutor	Dmitry Zaika	x	x		Freemium
L'audition tonale	CCDMD			x	Gratuit
MelodEar, across Jazz Harmony	David Eskenazy	x	x		Freemium
Meludia	Meludia	x	x	x	Freemium
Metronimo	Metronimo			x	Gratuit
Music Crab	Éric Zorgniotti	x	x		Payant
Music notation training	David Filip			x	Freemium
Music Theory	musictheory.net			x	Gratuit
Music Tutor	JSplash Apps	x	x		Freemium
Musical Chord - Music Theory	Musical Chord	x	x		Payant
Musiclever	Benjamin Martinez			x	Gratuit
Musiclic	Musiclic			x	Freemium
Musition		x	x	x	Payant
Mussila	Mussila	x	x		Freemium
My ear training	myrApps s.r.o.	x	x	x	Gratuit
Note Rush	Thomas Grayston	x	x		Payant
Online Ear Training	I was doing all right			x	Gratuit
OpenEar - Ear training	Shachar Har-Shuv	x	x		Gratuit
Perfect Ear	Crazy Ootka Software AB	x	x		Freemium
Pitch improver		x	x		Payant
Play By Ear - Ear Training	SuperNonstop.com, Inc.	x			Freemium
Politonus	MDECKS MUSIC, LLC	x			payant
Scale, Chord Progressions	Raul Reyes		x		Freemium
MakeMusic Cloud	MakeMusic			x	Payant
Solfasil				x	Gratuit
Solfège, dictée				x	Gratuit
Solfego	Xavier pierre			x	Gratuit
Steve Reich's Clapping Music	London Sinfonietta	x			Gratuit
Symphozik	Jean-Baptiste Matthews			x	Gratuit
Tenuto	musictheory.net	x			Payant
Teoria.com				x	Gratuit
The Ear Gym	Francisco Pampulha		x		Gratuit
Tonedear					Payant
Tonegym				x	Freemium
Tonesavvy				x	Freemium
Zussie's Ear Training	Zusshi's Music School		x		Freemium
Vocalizzo Lite	vitvlkv-1		x		Freemium

TABLEAU 2.1 – Liste d'applications classées par système d'exploitation et type d'accès.

en présentiel et en ligne), la classe inversée ou l'*e-learning* avaient émergé bien avant le confinement en 2020, ils ont attiré l'attention pendant la crise sanitaire, changeant rapidement le paysage de l'éducation à travers le monde. La recherche en éducation a abouti à différentes approches pour mettre en œuvre de nouvelles technologies afin de s'adapter aux exigences actuelles du nouvel environnement.

La littérature scientifique étudiant les logiciels pour l'apprentissage des compétences auditives (ici traitées comme synonymes de l'apprentissage auditif) est sans doute aussi ancienne que la littérature sur les logiciels éducatifs (également connus sous le nom d'Enseignement Assistée par Ordinateur (EAO) (*Computer Assisted Instruction* ou CAI). L'initiative trouve ses racines dans les discussions des psychologues des années 1920 sur l'apprentissage et l'enseignement programmés et la conception de machines d'enseignement [795]. En 1959, IBM développait déjà des cours automatisés et les premiers rapports sur la technologie à venir étaient publiés. En 1960, le système PLATO (*Programmed Logic for Automatic Teaching Operation*) incluait des capacités sonores intégrées qui permettaient la conception de méthodes d'apprentissage de la musique. En 1966, le *Music Educators Journal* [448] répertoriait des méthodes d'apprentissage basées sur l'instruction programmée, et un travail pionnier sur l'apprentissage auditif et la lecture à vue était réalisé et documenté par Kuhn et Allvin l'année suivante. Au cours des décennies suivantes, il existait déjà une abondante littérature sur les technologies d'apprentissage se concentrant sur l'apprentissage du rythme [154], l'apprentissage auditif [226, 20], la lecture à vue [780] et l'apprentissage d'un instrument [632]. Depuis lors, le développement de nouvelles technologies telles que l'internet ou les appareils mobiles a élargi les possibilités d'utilisation de nouvelles techniques pour l'apprentissage auditif.

Il existe une abondante littérature concernant le développement et la mise en œuvre de logiciels pour l'apprentissage musical, et plus spécifiquement pour l'apprentissage auditif. Il existe de nombreux articles, rapports et thèses décrivant et examinant les opportunités et les limites d'utilisation de ce type de technologie en classe d'apprentissage auditif, couvrant différentes décennies [742, 810, 823, 307, 707, 301]. Néanmoins, la quantité de logiciels développés (sans prendre en compte leurs mises à jour continues) rend leur évaluation et leur classification difficile (si le but est de réaliser une étude approfondie

de toutes les options disponibles). Une revue de la littérature sur l'éducation musicale générale soutenue par la technologie mobile a été réalisée en 2021 [486], ainsi qu'une étude sur l'utilisation de la technologie musicale pour enrichir la créativité chez les personnes âgées [172]. En 2019 Olivier Sirois et Jean-Philippe Després ont recensé la littérature qui traite de l'utilisation des technologies de l'information et de la communication (TIC) dans la formation auditive et des LMS dans l'enseignement de la musique [724]. Ils ont retrouvé dix-huit articles rédigés en anglais et français, dix s'intéressaient aux TICs au service de la formation auditive et huit au LMS dans l'éducation musicale. Cependant, les articles qu'ils avaient retenus étaient publiés entre 2007 et 2018 et ne prenaient pas en compte les articles de développement d'outils numériques. À notre connaissance, il n'y a pas eu de revue de la littérature prenant en compte l'évolution de la mise en œuvre de cette technologie et ses méthodes d'évaluation.

L'importance de passer en revue la recherche sur la technologie pour l'apprentissage auditif réside dans le potentiel de cette technologie et dans son utilisation généralisée qui influence largement la façon dont ce domaine est enseigné.

### 2.3.1 Data gathering

La présente étude s'appuie sur les Directives décrites par les éléments de déclaration préférés pour les revues systématiques et les méta-analyses (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* PRISMA [609]), conçues pour aider les chercheurs à rapporter de manière transparente les objectifs, le contexte et le contenu de la revue. PRISMA a été développé pour les chercheurs des sciences médicales, mais il a également été utilisé dans différents domaines de recherche tels que l'éducation [835], la pratique musicale [762, 364], la musicothérapie [172, 309], et l'étude de la rétroaction sur la pédagogie et la psychologie musicale [80].

La recherche initiale d'études a été menée en novembre 2022 et une recherche ultérieure a été effectuée en avril 2024. La recherche a été conduite en anglais, français et espagnol. On a conduit des recherches avec les noms des certaines applications. Les chaînes de recherche (*search strings*) utilisées pour générer des

données étaient les suivantes :

- En anglais : ear training app, ear training software, ear training application, ear training platform, ear training technology, musical ear training program, mobile learning music, aural skills software, aural skills app, music learning software, music teaching software, ear training serious game,
- En français : outils numériques apprentissage auditif, apprentissage auditif numérique, apprentissage musical numérique, formation musicale numérique, solfège apprentissage numérique
- En espagnol : aplicación de entrenamiento auditivo, entrenamiento auditivo software, software solfeo
- Autres : meludia, earmaster, gnu solfege, solfeggio software, auralia, musication, solfeggio app

5600 références potentiellement correspondantes ont été explorées. Dans le but d'élargir la portée de l'étude, la littérature examinée ici comprend des articles de revues ainsi que des mémoires de master et de doctorat.

Un total de 568 sources ont été conservées en raison de leur titre et de la similitude des mots avec la chaîne de recherche. Ces sources ont été examinées à travers leur titre, leur résumé et leurs conclusions. De ce total :

- 28 articles ont été exclus pour être des doublons,
- 17 pour ne pas inclure le texte intégral,
- 11 n'étaient ni en anglais, ni en espagnol, ni en français (les trois langues utilisées pour les chaînes de recherche),
- 24 n'étaient pas considérés comme étant principalement axés sur l'apprentissage musical/auditif,
- 6 étaient des critiques de livres ou des posters scientifiques
- 50 étaient des articles éditoriaux/anecdotiques/d'opinion/théoriques (qui reflétaient, suggéraient des lignes directrices et discutaient de la technologie dans l'éducation musicale),
- 65 concernaient la recherche sur les compétences auditives avec un lien négligeable avec les technologies numériques,
- 6 étaient des revues de littérature (qui ont été traitées dans l'introduction de cette section).

Ces critères d'inclusion ont laissé 363 sources qui ont ensuite été examinées pour voir si elles traitaient du développement des compétences auditives à l'aide de la technologie numérique comme principal objet d'étude, aboutissant à un total de 190 articles à être étudiés.

L'objectif était d'étudier la littérature scientifique sur l'utilisation d'outils numériques dans le but de développer des compétences auditives générales chez des individus sains, sans prendre en compte le répertoire d'un style musical spécifique. Les recherches ont été exclues si elles se concentraient principalement sur des logiciels de notation musicale, d'improvisation, de composition, d'apprentissage d'un instrument, d'entraînement auditif pour les personnes souffrant d'une condition médicale (telle qu'un implant cochléaire) ou d'entraînement auditif technique (comme pour les ingénieurs du son). Même s'il est clair que l'improvisation et la composition sont des aspects non négligeables du développement de l'oreille musicale [406, 380, 24], nous avons décidé d'exclure la littérature sur les logiciels qui utilisaient ces pratiques comme outils d'entraînement auditif (cela aurait autrement signifié l'inclusion de logiciels de composition de musique électronique, de synthèse audio, d'instruments virtuels, etc.).

Les questions directrices de l'étude étaient les suivantes :

1. Quelle a été l'évolution des logiciels d'entraînement auditif?
2. Qui sont les utilisateurs ciblés par ce type d'outils?
3. Quelles sont les caractéristiques communes de mise en œuvre de ces outils numériques?
4. Quels sont les défis et les limitations courants de ce type d'études?

L'intégralité des données se trouve dans le lien suivant : [https://drive.google.com/drive/folders/1m2vkH\\_QR5bjYsbf7j7dSwiCwqLwpcSnh?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1m2vkH_QR5bjYsbf7j7dSwiCwqLwpcSnh?usp=sharing)

### 2.3.2 Résultats

Dans la littérature analysée, 55,7% des études portaient sur le développement ou le test de leur propre outil numérique, 26,8% sur l'intégration d'outils existants dans un environnement pédagogique et 17,3% sur l'examen des technologies existantes. Au total, 62,4% des études incluaient une étude empirique

dans laquelle l'outil ou le cadre pédagogique intégrant la technologie était testé auprès d'apprenants.

### **L'évolution de la recherche sur les logiciels d'apprentissage auditif**

En 1997, Kimberly C. Walls a publié un article sur l'impact des technologies numériques dans l'apprentissage et la performance musicales [814]. Elle s'appuie sur des recherches antérieures et suggère l'utilisation de méthodes de recherche qualitative pour identifier des variables à analyser. En ce qui concerne les logiciels d'exercices de développement de l'oreille musicale, elle constate qu'ils ont commencé à être étudiés en profondeur pendant la période « Micro-ordinateur / EAO traditionnel » de 1978 à 1989. En général, elle a constaté que l'enseignement assisté par ordinateur était aussi efficace que l'enseignement traditionnel, mais qu'il pouvait potentiellement accroître la motivation. Sa valeur dépendrait cependant de l'environnement d'apprentissage et des caractéristiques de chaque individu. Elle a également constaté un faible effort d'intégration des logiciels développés entre la fin des années 80 et 90 dans l'enseignement musical.

Peter Webster a passé en revue des recherches liées aux technologies numériques dans l'enseignement et l'apprentissage en 2002 [825], 2007 [827] et 2012 [828]. Il a écrit sur l'essor de la recherche et du développement de nouvelles technologies pour l'apprentissage de la performance musicale, de la composition et de l'oreille musicale. Les étudiants sont également de plus en plus préparés à utiliser la technologie dans leur apprentissage. Cependant, l'une de ses principales conclusions est le manque de stratégies pour intégrer la technologie à l'environnement d'enseignement. Il cite des problèmes liés au genre et à la technologie, à l'équité d'accès et à l'effet réel de la technologie sur l'apprentissage à long terme des musiciens professionnels.

Liu et ces collègues ont réalisé une revue systématique de la recherche sur l'enseignement de la musique assisté par la technologie mobile de 2008 à 2019 [486]. Ils ont analysé 31 articles provenant des bases de données Scopus, RILM, WOS et ERIC. Ils ont constaté que le domaine le plus étudié était celui des « compétences musicales, écoute et réponse » (51,61 % des articles), principalement en utilisant des méthodes d'évaluation qualitative. Une analyse des mots-clés

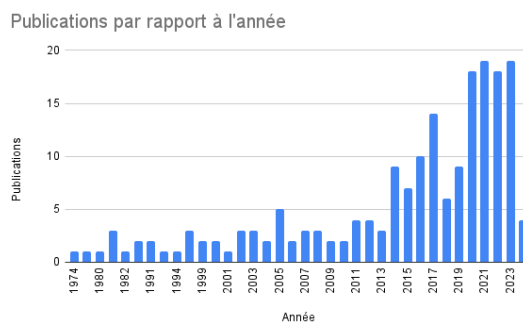


FIGURE 2.1 – Publications par rapport à l'année

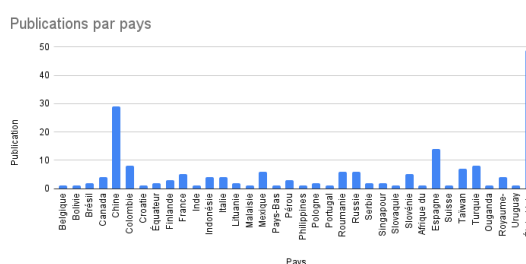


FIGURE 2.2 – Publications par pays

a révélé trois principaux axes de recherche : l'expérience des enseignants dans l'adoption de la technologie mobile, la discussion sur l'utilisation appropriée de la technologie mobile dans l'enseignement de la musique et les tendances futures de l'apprentissage mobile en musique.

Dans la présente revue, nous avons constaté un intérêt accru pour le sujet au fil des années. Il est remarquable qu'au cours des quatre dernières années, il y ait eu une explosion de la recherche sur le développement des compétences auditives grâce aux technologies numériques (78 études retenues).

Une analyse de la langue de publication montre clairement la domination de l'anglais comme langue la plus courante, outre l'origine géographique de l'étude. Les États-Unis (48 articles retenus) restent en tête de la production de ce type de recherche, suivis de la Chine (29 articles retenus). Selon Robin Stevens [750], les pays pionniers dans le développement de l'enseignement assisté par ordinateur (EAO) ont été les États-Unis et le Royaume-Uni. Cependant, à l'heure actuelle, ce sujet de recherche suscite l'intérêt de pays du monde entier, comme le montre

la figure. Néanmoins, des chercheurs de l'Université d'Oradea en Roumanie ont déclaré s'être inspirés de l'état d'intégration des logiciels de compétences auditives au Royaume-Uni pour adapter les outils à leur propre situation [578]. Et comme le souligne Stevens dans un article ultérieur [749], la recherche et l'évolution des technologies éducatives liées à la musique sont présentes en Australie depuis les premiers temps de cette tendance.

L'évolution de ces outils est allée de pair avec la technologie, depuis les premiers systèmes informatiques jusqu'aux appareils mobiles actuels. Même si l'objectif de cette recherche était de se concentrer sur l'enseignement assisté par ordinateur (EAO) pour les compétences auditives, nous avons trouvé de nombreux articles dans lesquels l'EAO était utilisé dans le cadre d'un système intégré supporté par la technologie. Par exemple, dans les premières années, certains logiciels étaient utilisés conjointement avec des cassettes audio [281]. L'EAO pour la musique a également été installé sur les premiers ordinateurs et les salles informatiques des universités [758]. Même s'il ne s'agissait pas directement d'EAO, des cours de formation de l'oreille étaient disponibles sur CD et, dès le début, des initiatives d'utilisation de stations de travail d'enregistrement analogiques puis numériques pour l'apprentissage ont vu le jour [742]. Avec l'arrivée des ordinateurs de bureau, les logiciels de formation auditive ont été commercialisés [46]. Plus tard, on trouve des exemples d'EAO basés sur internet [747, 492], ainsi que des logiciels pour assistants numériques personnels (PDA) [603].

L'introduction des appareils mobiles et de la technologie sans fil a fait évoluer le développement vers une utilisation dans ces environnements et ils restent les appareils cibles dominants pour ces outils. Un intérêt particulier a été porté à l'utilisation d'algorithmes de reconnaissance de la hauteur tonale pour suivre et donner un feedback sur les sons de la voix et des instruments de musique [597, 634]. Malgré l'utilisation « récente » de cette technologie, l'article de Kuhn en 1990 [447] explique que la méthode était déjà accessible à l'époque pour analyser les hauteurs tonales de manière numérique. Dans le but de fusionner la technologie à l'enseignement, des initiatives ont été prises pour adapter les tableaux blancs interactifs [777, 237, 585] et les systèmes de gestion de l'apprentissage [702, 476] à l'enseignement des compétences auditives. Les derniers



développements de *deep learning* [189], de l'intelligence artificielle [881, 878] et de l'exploration de données (*data mining*) [883] tentent de faire progresser les outils disponibles pour donner une rétroaction et encourager l'apprentissage de la musique en s'adaptant aux besoins de l'utilisateur et au contenu. La recherche sur l'utilisation de la réalité virtuelle [717] et augmentée [706] dans ce domaine est également en pleine croissance.

### Évaluation des outils d'apprentissage

Les études sur les outils numériques ont été classées par rapport aux méthodes d'apprentissage.

**Méthode d'évaluation** Cent huit études ont réalisé une évaluation de la technologie d'apprentissage de l'oreille. Les deux méthodes d'évaluation les plus utilisées étaient :

- comparer un groupe contrôle (qui n'utilisait pas l'outil technologique) avec un groupe expérimental (qui utilisait l'outil), ou
- évaluer l'évolution d'un seul groupe, un groupe de discussion (*focus group*) ou envoyer un sondage en ligne et interviewer un groupe de discussion.

Dans les deux cas, il y avait un prétest au début de l'intervention et un test à la fin.

Trente-huit pourcent des études a utilisé une méthodologie mixte, c'est-à-dire que leur observation était basée à la fois sur des résultats quantitatifs (le niveau d'amélioration des compétences auditives) suivis d'un questionnaire d'attitude. Dix-huit pourcent de publications se focalisaient seulement sur le ressenti des participants par rapport aux outils.

**D'autres méthodes d'évaluation** Onze articles de cette revue ont étudié d'autres aspects liés à l'apprentissage auditif facilité par le numérique. On y trouve, par exemple, des comparaisons entre l'outil numérique développé et EarMaster (un outil d'apprentissage auditif populaire), l'utilisation de différents stimuli sur une même plateforme, l'utilisation d'un jeu vidéo musical versus un outil pédagogique, l'outil pédagogique comparé à l'utilisation de méthodes actives ; parmi d'autres approches. Bien que le type d'approche ne soit pas le même dans

<b>Auteur</b>	<b>Année</b>	<b>Pédagogie</b>	<b>Public</b>	<b>Méthode</b>
Herrold	1974	Drills	University	mixed
Hofstetter	1981	Drills	University	mixed
Garton	1981	Drills	University	mixed
Gross, Griffin	1982	Drills	University	mixed
Hess	1994	Drills	University	mixed
Worthington, Szabo	1995	Interactivity	University	mixed
Kiraly	2003	Contextualisation	Conservatory	mixed
Estep	2005	Visual stimuli	University	mixed
Tejada	2009	Notation	Conservatory	mixed
Hwang, Chu	2011	Visual stimuli	University	quantitative
Cruz Lara	2012	Gamification, intonation	University	mixed
Pistone, Shvets	2014	Interactivity	University	mixed
Petty, Henry	2014	Intonation	Primary	quantitative
Karahan	2014	Distance learning	University	quantitative
Paule-Ruiz et al.	2015	Interactivity	Preschool	mixed
Tong	2016	Drills	University	qualitative
Buenaño Logroño	2016	Willems	Secondary	quantitative
Kariuki, Ross	2017	Drills	Primary	mixed
Ross	2017	Drills	Primary	mixed
García Uribe	2017	Interactivity	University	quantitative
Cubillos Martínez	2019	Metacognitive strategies	Primary	mixed
Pesek, et al.	2020	Gamification	Conservatory	mixed
Debevc, et al.	2020	Visual/tactile stimuli	Primary	mixed
Pesek, et al.	2020	Gamification	Conservatory	mixed
Lesser	2020	Gamification	Primary	mixed
Jeremić, et al.	2020	Drills, MIDI, notation	Primary	quantitative
Liu, et al.	2021	Peer assessment	University	mixed
Huang	2021	N/A	Conservatory	mixed
Peng	2021	N/A	University	mixed
Han	2022	Sing	University	mixed
Wang	2022	Interactivity	Conservatory	mixed
Ouyang	2022	Chord analysis	University	mixed
Kibici, Gökbudak	2022	Interactivity	Primary	mixed
Della Ventura	2023	Ear master	University	mixed
Uludag, Satir	2023	Interactivity	Primary	mixed
Artis	2023	Drills	Primary	mixed

TABLEAU 2.2 – Études comparant l'apprentissage d'un groupe contrôle à un groupe expérimental disposant de l'outil.

Auteur	Année	Pédagogie	Public	Méthode
Pembrook	1986	Drills	University	qualitative
Spangler	1999	Drills	University	qualitative
Steffa	2000	Drills, interactivity	University	quantitative
Konik	2003	Contextualisation	University	qualitative
Loh	2004	Drills	University	mixed
Wilson	2004	Drills	University	mixed
Chu	2005	Notation	Primary	mixed
Tejada, et al.	2005	Drills	Conservatory	qualitative
Clarke	2006	Interactivity, sound	University	mixed
Savage	2007	Notation recording	Secondary	mixed
Pluta	2008	Intonation	Conservatory	mixed
Respino, et al.	2011	Gamification	Primary	mixed
Meave, Orduña	2012	Lars Edlund's Modus Novus	N/A	mixed
Ravelo	2012	Contextualisation	University	quantitative
Nedelcut, et al.	2013	Interactivity, intonation	University	mixed
Liu et al.	2014	Interactivity, gamification	N/A	qualitative
Galindo	2014	N/A	Primary	mixed
Rizqyawan, Hermawan	2015	Gamification	Primary	quantitative
Chen	2015	Gamification, interactivity	N/A	qualitative
Brook,Upitis	2015	Self regulation	Primary	mixed
Valujevič	2015	Drills, notation	Secondary	mixed
Nouwen et al.	2016	Interactivity, gamification	Primary	mixed
Nasrifan, Lailiddin	2016	Drills, interactivity	University	qualitative
Demencescu, et al.	2016	Visual stimuli	University	qualitative
Pérez-Gil, et al.	2016	Intonation	Conservatory	qualitative
Ou	2016	Interactivity, gamification	University	quantitative
Pérez, et. al	2017	Drills, notation, recording	Primary	qualitative
Sánchez	2017	Drills, interactivity	Primary	qualitative
Paule-Ruiz, et al.	2017	N/A	Preschool	mixed
Holguín	2018	Active pedagogies	Secondary	mixed
Hwang, Chu	2018	Visual stimuli	N/A	mixed
Raziūnaitė et al.	2018	Interactivity, gamification	Preschool	mixed
Chong	2019	Curriculum	Secondary	mixed
Brauer	2019	Interactivity, melodic contour	Primary	mixed
Benedek	2019	Contextualisation, MIDI	University	qualitative
Salmi, et. al	2019	Gamification	N/A	qualitative
Heinsen, Heinsen	2019	Creation for transfer	University	qualitative
Pedersen, et. al	2020	VR	N/A	qualitative
Parshina, Karpushina	2020	Contextualisation, MIDI	Primary	qualitative
Lescano	2020	Gamification, curriculum	Secondary	qualitative
Sirois	2020	Drills	University	mixed
Cioată, Iftene	2020	Chord analysis	N/A	qualitative
Respati, et. al	2021	Kodaly	Preschool	mixed
Mamani , et. al	2021	Drills, notation	University	mixed
Wang	2021	Interactivity, gamification	Primary	mixed
Schüler	2021	Intonation	University	mixed
Demian, Nedelcu	2021	Kodaly, gamification	Primary	mixed
Della Ventura	2021	Creation for transfer	Secondary	qualitative
Demirtas, Ozcelik	2022	Microtonal contextualisation	University	mixed
Li, Han	2022	N/A	University	mixed
Rosas-Rodriguez, et al.	2022	N/A	Conservatory	mixed
Sommerfeldt	2022	Creation for transfer	University	mixed
Shen, Wu	2023	Feedback	University	mixed
Lim, et al,	2023	Drills, contextualization	Secondary	mixed
Pesek, et al.	2023	VR	Primary	mixed
Özgül	2023	Notation	Secondary	mixed
Olivieri, et al.	2023	Interactivity, gamification	N/A	qualitative
Shevchuk	2023	Interactivity, gamification	University	quantitative
Huang, Chu	2024	Drills	N/A	mixed
Begić, et al.	2024	Interactivity	Primary	mixed

TABLEAU 2.3 – Études évaluant l'apprentissage d'un seul groupe disposant de l'outil.

Auteur	Année	Evaluation	Pédagogie
Killam, Scott	1981	different sounds same tool	Drills
Walker	1995	no tool vs with tool, vs only tool	Drills
Baker	2000	active methodologies vs CAI	Drills
Lapidus	2002	automatic vs requested feedback	Interactivity, notation
García, Raposo	2013	earmaster vs wii music same group	Wii Music, EarMaster
Király	2016	with and without teacher and without tool	Kodaly
Gonzalez	2016	tool vs ear master	Drills
Pomerleau Turcotte, et al.	2017	survey	N/A
Muntean, et. al	2022	multiple groups	Interactivity
Moldovan, Nedelcut	2022	tool with teacher vs tool at home	Drills
Zhu	2023	with and without parents	Drills

TABLEAU 2.4 – Études avec d'autres types d'évaluation de l'outil numérique

ces études, on constate qu'elles sont issues de la même littérature académique sur l'EAO. Malgré la difficulté que présente l'analyse de ces études pour une comparaison avec les autres, elles montrent la richesse des enseignements que l'on peut tirer d'aborder de différentes façons la thématique du numérique dans la formation auditive.

### Publications sans évaluer un outil numérique

#### Approche pédagogique

L'approche pédagogique la plus utilisée pour ces outils reste les exercices dites « *drills* » d'entraînement auditif, que nous avons retrouvés dans 47 études (en tenant compte également de l'utilisation de ces exercices accompagnant l'utilisation de claviers MIDI ou de logiciels de notation). Les exercices font référence à l'identification et à l'exécution de petits éléments musicaux isolés [406].

Six études étaient explicitement basées sur des pédagogies actives. L'approche Kodály a fait l'objet de quatre études [578, 658, 236, 424], et il existait un logiciel basé sur la philosophie Willems [108]. Une des études [356] combinait différentes méthodologies actives avec divers logiciels de manière progressive pour enseigner différents éléments musicaux. Il est remarquable qu'une étude ait comparé le succès d'apprentissage d'un outil EAO à une approche pédagogique active [46].

Certaines approches ont centré leur attention sur la contextualisation des

Auteur	Année	Auteur	Année
Swanzy	1976	Getman, Radovanovi	2018
Groom-Thornton	1980	Gorbunova, Goncharova	2019
Coffman, Smallwood	1986	Gorbunova, Goncharova	2019
Stevens	1991	Huang, Chu	2019
Rothstein	1991	de Clercq	2020
Peters	1992	Brown	2020
Muhl	1995	Goncharova, Gorbunova	2020
Krüger, et. al	1999	Buonviri, Paney	2020
Veitl	2001	Starodubtsev, et al.	2020
Isaacson	2002	Zhou, Gong	2020
Henik	2002	Zhang	2020
Ordona	2003	McDaniel	2020
McKinnon	2005	Parkita	2021
Denis, Jouvelot	2005	Na	2021
Martínez, Ramírez ;	2006	Liu, et al.	2021
Hernández, et. al	2007	Demirtaş, Özçelik	2021
Assayag, et. al	2007	Busobozi	2021
Dorfman	2008	Murillo, et al.	2021
Ariza	2008	Zadnik	2021
Nolan	2009	Liu, Chang	2021
Auerbach	2010	Wanseéle, Nogueira	2021
Erickson	2010	Pitkin	2021
Manzo, VJ ;	2011	Shvets, Darkazanli	2022
Román, et. al	2011	Huang, Chu	2022
Baratè, Ludovico	2013	Wang	2022
Cathey	2014	Zhang	2022
Chakrabarty, et al.	2014	Lu	2022
Liu	2014	Capistrán	2022
Huertas	2014	González, Diaz	2022
Wang	2015	Richards	2022
Freitas, et al.	2015	Porteal	2023
Brezina, et al.	2016	Zhu	2023
Fleshner	2016	Perez	2023
Li, Ma	2017	Dominguez-Lloria, et al.	2023
Zhou, Yan	2017	Lee	2023
Lin, et al.	2017	Cholbi	2023
De Dios Cuartas	2017	Castillo	2023
Cheng, Leong	2017	Michael, Hanhan	2023
Ibanez	2017	Shi	2023
Nebelung	2017	Ren	2024
Serdaroglu	2018	Sularso, et al.	2024
Arici	2018		

TABLEAU 2.5 – Etudes qui n'évaluent pas d'outils numériques

exercices d'entraînement auditif. Par exemple, Király [423] souligne que l'EAO a besoin de « vraie » musique pour être engageante, et que si elle inclut un répertoire connu, elle peut être plus efficace que l'apprentissage musical traditionnel. La même année, Konik ajoutait que l'EAO pouvait augmenter le niveau de satisfaction des étudiants en apportant plus de pertinence et de sens à la pratique [439] (comme l'ont également conclu Parshina et Karpushina en 2020 [614]). En France, un « environnement multiplateforme pour l'éducation musicale » a été développé à l'Ircam à Paris pour introduire les outils de la recherche musicale et de la création contemporaine en classe par la contextualisation [320]. Ravelo [653], Huertas [374] et Benedek [70] sont des exemples d'enseignants qui ont mis en œuvre des outils technologiques avec une approche pédagogique de contextualisation du contenu. Chong a écrit en 2019 [142] sur un outil EAO soutenu par l'IA et basé sur la contextualisation des exercices d'harmonie.

Il existe des cas singuliers de pédagogies plus expérimentales appliquées à l'EAO. Par exemple, en 1980, Groom-Thornton [315] a écrit un article discutant de l'utilisation de l'EAO pour enseigner le « non-harmonique », qu'il décrit comme des structures mélodiques et rythmiques qui définissent les styles musicaux. Un autre exemple est l'application ModusXXI [541], basée sur la méthodologie Modus Novus de Lars Edlund. Cette méthode propose une étude auditive des structures atonales utilisant des combinaisons d'intervalles qui empêchent une interprétation tonale.

Même si les études centrées sur un style musical unique n'étaient pas incluses, nous avons trouvé une étude remarquable basée sur l'enseignement des compétences auditives microtonales pour l'utilisation dans la musique turque [194]. Dans cette étude, les chercheurs ont également constaté que les étudiants en musique s'appuient fortement sur les applications mobiles pour écouter de la musique, utiliser des métronomes et des accordeurs, enregistrer de l'audio ou de la vidéo, accéder à du matériel musical et se tenir informés des développements musicaux. Cependant, leur utilisation des applications de musique turque est particulièrement faible, avec une utilisation sporadique rapportée principalement pour l'étude de chansons de musique turque.

Même si de nombreuses études étaient basées sur des exercices « *drills* », les capacités technologiques ont augmenté au fil des ans permettant un rôle de plus

en plus actif à l'apprenant. Ce fait souligne la mention récurrente de la recherche de moyens de mettre en œuvre l'interactivité (dans 40 études).

Estep [241] décrit dans sa thèse doctorale en 2005 la création d'un outil d'apprentissage auditif en ligne qui combine le fait de voir, d'entendre et de chanter des notes musicales numérotées. L'idée est que les étudiants puissent imaginer chanter ces exercices même lorsqu'ils ne les font pas physiquement, ce qui pourrait les aider à mieux se souvenir des sons.

Dans une étude de 2002, George Henik [342] a fait écouter à des gens des intervalles musicaux puis les a fait dessiner pour les représenter sur un ordinateur. Plus tard, ils ont essayé de se souvenir des intervalles en se basant sur ces dessins. Cette méthode semblait aider les gens à bien apprendre les intervalles, mais elle n'a pas été directement comparée à une autre méthode d'apprentissage. Les chercheurs ont utilisé des idées provenant de trois théories différentes en psychologie pour expliquer pourquoi cette méthode pourrait fonctionner. La théorie du codage double suggère que notre cerveau apprend mieux lorsque l'information est présentée de deux manières, comme les sons (musique) et les images (dessins). La théorie générative de la compréhension de la lecture, une théorie qui suggère qu'engager activement avec l'information, comme dessiner des images, nous aide à mieux nous en souvenir. La théorie de la charge cognitive suggère que l'apprentissage est plus difficile lorsque notre cerveau est surchargé d'informations. Les chercheurs ont créé un environnement en ligne où les sons pouvaient être associés à des images pour améliorer la rétention de la mémoire.

Certains articles se concentrent sur la rétroaction fournie aux étudiants. Huang et Chu en 2019 [371] ont proposé l'utilisation d'un mécanisme multisensoriel comme rétroaction pour l'apprentissage auditif. Lapidus [461] a conçu une recherche en 2002 comparant un système de rétroaction qui avertit l'élève s'il se trompe pendant qu'il effectue la tâche par rapport à une rétroaction qui lui donnerait la réponse à la fin. Il a conclu qu'il était bénéfique de proposer les deux options aux utilisateurs. Dans une approche différente, Shen et Wu [713] en 2023 ont développé une méthode utilisant des modèles statistiques, associés au protocole MIDI, afin de fournir un retour visuel musical sur la performance vocale.

La réalité virtuelle a également attiré l'attention en tant qu'approche pédago-

gique. Une étude de Pedersen et al. [619] a présenté une application de réalité virtuelle dans laquelle les intervalles musicaux étaient associés à une intégration de signaux multimodaux et à un son spatialisé. L'objectif de cette recherche était d'étudier comment l'intégration multimodale, grâce à l'ajout d'un indice perceptif supplémentaire (le son spatial), aidait à la reconnaissance des intervalles par l'identification spatiale de l'origine du son. Dans une approche similaire, Anna Shvets et Samer Darkazanli [717] ont conçu un environnement de réalité virtuelle qui facilite la compréhension de l'harmonie musicale en utilisant des couleurs et des nuances pour représenter les différentes parties de la musique. Cela aide les apprenants car ils peuvent voir les motifs visuellement au lieu de simplement les entendre. En 2023, Pesek et ses collègues [627] ont conçu un jeu de batterie en réalité virtuelle et ont cherché à savoir s'il pouvait aider les enfants d'école primaire à améliorer leur sens du rythme lorsqu'ils s'entraînent seuls, sans professeur. Après 14 jours de jeu autonome, les enfants ont montré une amélioration de leurs compétences rythmiques. Les chercheurs ont également constaté que, si l'expérience en réalité virtuelle était positive, certains casques VR abordables pouvaient ne pas être idéaux pour tous les jeux d'apprentissage.

Certains outils numériques ciblent la reconnaissance de la hauteur des sons (de la voix humaine pour la plupart des cas) en mettant l'accent sur l'entraînement auditif [880, 879, 802, 621, 485, 532, 104, 682, 714]. Le développement de cette technologie (également présente dans les outils d'entraînement auditif proposant des exercices classiques) ouvre de nouvelles possibilités pour le feedback et la correction des erreurs.

**Gamification** Nous avons constaté l'importance des concepts de gamification et des développements de jeux sérieux dans la recherche et la mise en œuvre d'applications d'apprentissage auditif en musique. Ici on présente des études qu'ont fait une attention particulière aux aspects de gamification dans les outils d'apprentissage.

Les approches présentées par les plateformes ou leur intégration dans un programme d'études diffèrent dans la présentation du matériel pédagogique. On distingue les jeux à visée pédagogique des plateformes d'apprentissage dotées de fonctionnalités ludiques. Par exemple, « Children's Music Journey » [533] se



veut une solution attrayante pour l'entraînement de l'oreille des enfants, avec le support de l'apprentissage du clavier. L'outil est un programme d'apprentissage de trois ans destiné aux enfants de quatre à huit ans. Les caractéristiques essentielles de ce logiciel comprennent des introductions à la composition, à l'improvisation et à la pratique de motifs rythmiques avec le support d'un clavier MIDI. La progression de l'apprentissage suit une histoire avec des personnages.

L'application SAMI, à la frontière entre jeu sérieux et plateforme d'apprentissage, créée par Paule-Ruiz et al. [617], a été conçue pour les enfants de maternelle. Cette application propose des éléments d'histoire avec des jeux qui développent la mémoire et la perception musicales. Pour la même tranche d'âge, Raziūnaitė et ses collègues [654] ont créé un jeu de perception et de mémoire musicales basé sur les directives de Chung et Wu [148], qui tiennent compte de l'âge, de l'interaction tactile, de la créativité, de l'absence de connaissances préalables, mais de la possibilité d'acquérir des connaissances symboliques de haut niveau. Certaines de ces caractéristiques étaient également présentes dans le jeu « Pitch Paradise » [659].

Nowen et ses collègues [587] ont conçu leur jeu musical éducatif par le biais d'une conception participative. Des enfants ayant des degrés d'expérience musicale variables ont été interrogés sur les fonctionnalités qu'ils préféreraient pendant la conception de la plateforme. Les chercheurs ont identifié des éléments essentiels pour la réussite, tels qu'une boucle de rétroaction claire, une structure de récompenses basée sur la performance et la persévérance, un morcellement du contenu d'apprentissage, un parcours d'apprentissage autonome, un espace de créativité et un espace de pratique « privé » tout en permettant la performance publique.

Denis et Jouvelot [195] poursuivent la réflexion sur ce sujet en affirmant que les jeux vidéo qui intègrent des objectifs d'apprentissage différent des plateformes d'apprentissage dotées de composantes divertissantes (« *edutainment* ») par le degré d'interactivité. Par conséquent, les plateformes d'apprentissage ne permettent pas l'exploration ou les chemins alternatifs. En conséquence, elles ne peuvent pas transmettre efficacement des connaissances complexes et peuvent devenir répétitives en renforçant les mêmes actions et en ne remettant pas en question la compréhension de l'apprenant.

Demian et Nedelcut ont écrit en 2021 sur le logiciel « The Musicators » [193], qui est basé sur la méthode Kodály [208] et la théorie de l'apprentissage musical de Gordon [304]. Les théories de Gordon ont également été appliquées dans l'application décrite par Wang [817]. Dans son article, Wang a comparé une version de l'application avec des fonctionnalités de jeu complètes à une version simplifiée. Elle a constaté que les détails accrus d'une fiction de jeu pouvaient perturber l'apprentissage en raison des informations supplémentaires. Cependant, un jeu simplifié peut ne pas réussir à propulser la motivation d'apprentissage et l'engagement avec le matériel.

La stratégie pédagogique doit être adaptée à la population cible. Par exemple, l'application iCLef créée par Baratè et Ludovico [60] a été développée pour les étudiants en musique plus âgés au niveau du conservatoire. (Le terme « conservatoire » dans ce contexte inclut l'école de musique, la faculté de musique, l'académie de musique). Pour une population similaire mais avec plus de fonctionnalités de jeu, l'application web Troubadour [629, 630] est basée sur des exercices d'entraînement de l'oreille pour les étudiants de conservatoire. Elle intègre des éléments de gamification tels que des points, des badges, du feedback, des limites de temps, une barre de progression, des niveaux et aussi un avatar. De même, Aglaya Play [564], Auralbook [129], LeApp [469], EarMaster [573, 174] (un des outils les plus anciens, les plus utilisés et les plus étudiés), et les applications décrites par Richards [661] intègrent ces aspects dans leur conception. Ces approches sont présentées comme des plateformes d'apprentissage pour des utilisateurs plus expérimentés/adultes.

Khalass et ses collègues [417] ont développé un prototype de jeu visant à améliorer les capacités musicales des joueurs. Le jeu, destiné aux musiciens amateurs ou novices, propose des mini-jeux pour développer trois aspects de la musicalité : la reconnaissance des instruments, du tempo et de la tonalité. Ces mini-jeux peuvent être joués selon deux modes : un mode histoire, qui propose des jeux à un niveau de difficulté adapté au joueur, et un mode défi, où le joueur peut choisir un aspect spécifique, un mini-jeu et un niveau de difficulté.

Auerbach [37] a présenté une étude sur l'utilisation du jeu d'arcade Dance Revolution pour améliorer la performance rythmique. Wii Music [276] a été comparé à EarMaster dans une école espagnole en 2013, aboutissant à des

Auteurs	Année	Application	Users
McKinnon	2005	Children's Music Journey	Primary
Denis, Jouvelot	2005	Cha-Luva Swing Festival	N/A
Auerbach	2010	Dance revolution	N/A
Respino, et al.	2011	Pitch paradise	Primary
Cruz Lara	2012	EarMaster	University
Wei	2012	Pitch the Tune	University
García, Raposo	2013	Wii Music, EarMaster	Primary
Baratè, Ludovico	2013	iClef	N/A
Liu et al.	2014	Chorlody	N/A
Paule-Ruiz et al.	2015	Sami	Preschool
Rizqyawan, Hermawan	2015	Teori musik Adventure	Primary
Chen	2015	Auralbook	N/A
Nouwen et al.	2016	Melodia	Primary
Ou	2016	Auralia	University
Raziūnaitė et al.	2018	Pianinas linksmieji garsai	Preschool
Salmi, et. al	2019	Musicality	N/A
Pesek, et al.	2020	Troubadour	Conservatory
Lesser	2020		Primary
Lescano	2020	LeApp	Secondary
Demian, Nedelcu	2021	Musicators	Primary
Wang	2021		Primary
Murillo, et al.	2021	Aglaya play	University
Na	2021	EarMaster	N/A
Richards	2022	Music theory helper, My music theory, Perfect ear	University
Lim, et al,	2023	Melody Mystery	Secondary
Pesek, et al.	2023	Steady the drums!	Primary
Olivieri, et al.	2023	JumpApp	N/A
Shevchuk	2023	Perfect Ear	N/A
Michael, Hanhan	2023		N/A

TABLEAU 2.6 – Études en lien avec la gamification

observations similaires à celles de Wang [817]. Les chercheurs ont constaté que les meilleurs résultats étaient obtenus lorsque les jeux vidéo étaient combinés aux conseils d'un instructeur [470].

JumpApp [593] est un exemple remarquable où, grâce à un jeu didactique, l'utilisateur est entraîné à améliorer la justesse relative en évitant d'utiliser la notation musicale, mais plutôt en s'appuyant sur l'imagerie musicale. Melody Mystery [481] est un autre exemple où l'apprenant se confronte à des énigmes d'*escape room* et progresse en effectuant des tâches liées aux compétences auditives et à la théorie musicale.

## Contenu

La plupart des articles se concentrent sur les intervalles et les mélodies, suivis des accords et de l'harmonie. L'intonation (la capacité à chanter à la hauteur sou-

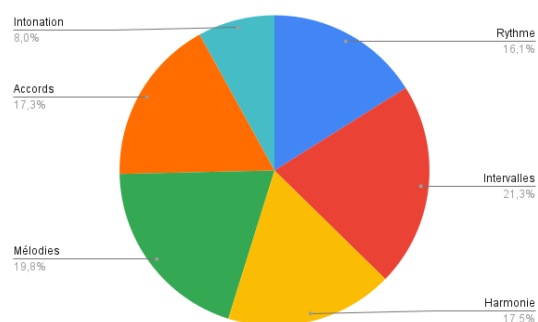


FIGURE 2.3 – Contenu abordé par les outils numériques

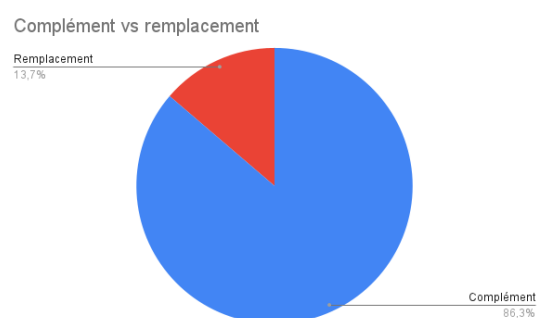


FIGURE 2.4 – Outil utilisé comme complément ou comme remplacement de l'enseignant

haitée) est une possibilité relativement récente dans les logiciels d'entraînement auditif. Elle a fait l'objet d'une attention particulière ces dernières années grâce au développement de nouvelles technologies de reconnaissance vocale basées sur l'intelligence artificielle.

Dans la plupart des cas (86,3% ou 88 cas), l'outil numérique était utilisé en complément du cours dispensé par l'enseignant. Seulement 13,7% des études mentionnent une utilisation des outils en remplacement des leçons en présentiel.

Il est important de souligner le travail de Dominguez-Lloria et ses collègues de 2023 [209] sur le contenu des applications de développement de l'oreille musicale. Leur étude a porté sur 50 applications mobiles conçues pour enseigner la musique aux élèves du primaire. Les chercheurs ont voulu vérifier si ces applications étaient bien conçues pour l'apprentissage. Ils ont constaté que la plupart des applications manquaient de fondements pédagogiques solides,

se concentraient essentiellement sur l'écoute de musique et n'utilisaient pas de jeux pour motiver les enfants. En se basant sur leurs conclusions, ils ont créé une série de critères pour aider les parents et les enseignants à choisir de bonnes applications d'apprentissage musical. L'étude suggère également qu'il est nécessaire de poursuivre les recherches pour aider les développeurs à créer des applications d'enseignement musical efficaces pour les enfants.

Dans un approach similaire, Eunhye Lee [466] a réalisé une revue de 100 applications d'apprentissage musical pour enfants. Cette étude visait à évaluer l'efficacité de ces applications dans la promotion des « compétences du 21e siècle ». Le chercheur a développé un outil d'évaluation nommé CHANCE34, comportant 34 questions réparties en six domaines : cognitif, coordination œil-main, affectif, design, commodité et fonction éducative. Cet outil permet de comprendre les points forts et les points faibles de ces applications afin d'aider les développeurs à les améliorer. À l'aide de CHANCE34, le chercheur a analysé 100 applications sélectionnées en tenant compte des six domaines, du score final et des catégories d'applications (jeux musicaux, instruments d'apprentissage, théorie musicale, etc.). Le design a obtenu la moyenne la plus élevée, tandis que les domaines cognitif et affectif ont obtenu des scores plus faibles. Les applications les mieux notées proposaient des expériences d'apprentissage personnalisées à des prix abordables.

### **Public visé**

La plupart des études ont recruté des sujets de niveau universitaire pour tester la mise en œuvre des logiciels. Cependant, 18,4% d'entre elles ne précisent pas la tranche d'âge ou le niveau de spécialisation des utilisateurs. Il faut noter qu'un certain nombre d'études portant sur l'entraînement auditif et l'apprentissage général de la musique chez les enfants le font en combinant différentes activités musicales, et ne se concentrent pas uniquement sur les compétences auditives. De plus, il existe des exemples de logiciels d'apprentissage conçus pour améliorer les performances et les habitudes de pratique, comme le mémoire de master de Cubillos Martinez [176] qui se concentrait sur les stratégies métacognitives.

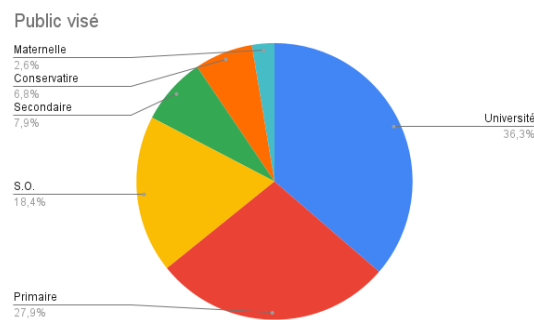


FIGURE 2.5 – Public visé par l'outil

### Implémentation

Sur les 107 articles analysant des tests de logiciels ou de systèmes intégrant un logiciel dans un programme d'enseignement, 93% font état de résultats positifs, 5% de résultats neutres et seulement 1,2% de résultats négatifs [620]. Dans 86% des cas, l'enseignement assisté par ordinateur (EAO) était utilisé en complément des cours réguliers et sous la supervision d'un professeur. Dans la plupart de ces études, la phase d'implémentation impliquait l'utilisation des outils numériques pendant et en dehors des cours.

Dans 83% des études, les utilisateurs ont déclaré être motivés par l'utilisation du logiciel. Seules deux études font état d'un manque évident de motivation [620, 758] (attribué aux performances de l'outil numérique), et une autre d'une attitude neutre envers la technologie [673]. Cependant, la quantité de détails sur les résultats variait considérablement d'un article à l'autre. Plusieurs études n'incluaient pas beaucoup de détails sur les attitudes et les performances des sujets qui testaient la technologie. Par conséquent, les rapports d'attitudes ne concernent que 90 des articles.

Les durées les plus courantes des tests d'implémentation étaient d'un an, de cinq semaines et de dix-sept semaines (un semestre). Huit articles mentionnaient explicitement ou laissaient entendre que des individus avaient été examinés après une seule utilisation du logiciel.

Il n'existe pas de caractéristiques standard pour la phase d'implémentation. Cependant, la plupart des tests de technologie suivaient une méthodologie basée

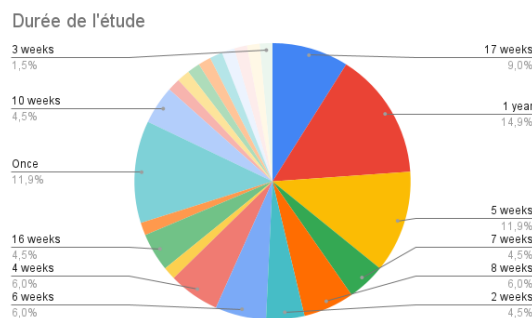


FIGURE 2.6 – Durée de l'étude

sur un groupe expérimental d'étudiants en musique et un groupe témoin. Les deux groupes passaient un pré-test, le groupe expérimental utilisait le logiciel d'entraînement auditif et le groupe témoin ne l'utilisait pas. Après un certain temps, les deux groupes passaient un post-test et les résultats étaient comparés.

**Logiciels utilisés dans les études** La moitié des études (50%) ont testé une technologie développée par l'équipe de recherche elle-même, ou spécifiquement conçue pour la recherche. Vingt-cinq études (axées sur l'intégration de la technologie dans les programmes d'entraînement auditif) n'ont pas précisé le logiciel utilisé.

L'intégration d'outils numériques a permis l'utilisation de logiciels aux fonctions diverses. Le logiciel d'entraînement auditif EarMaster a été utilisé dans 7% du corpus, suivi d'Auralia, GNU Solfège, Practica Musica et MacGAMUT. SmartMusic, également utilisé fréquemment, est conçu spécifiquement comme un outil d'entraînement.

Des logiciels de notation musicale ont été utilisés dans 11 études de manière à favoriser l'entraînement auditif. Des stations audionumériques (*digital audio workstations ou DAWs*) telles qu'Audacity, GarageBand ou Cubase ont également été employées par des enseignants de formation auditive. Enfin, 3% des études ont utilisé la plateforme d'apprentissage Moodle comme base pour les exercices d'entraînement auditif.

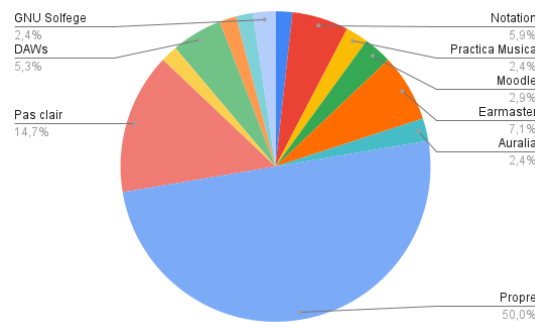


FIGURE 2.7 – Outil choisie pour l'étude

### Limitations des études

La plupart des études n'ont pas exploré les limitations en détail. Cependant, des articles des années 70 et 80 mentionnent un nombre insuffisant d'ordinateurs à la disposition des étudiants pour la pratique, ce qui entraînait de la frustration car ils ne pouvaient pas s'exercer librement en dehors des heures de cours. Malgré la popularité de l'enseignement assisté par ordinateur (EAO), en particulier aux États-Unis en 1998, Douglas Spangler [742] a pu étudier son intégration dans 209 institutions proposant des programmes de premier cycle en musique. Dans son étude, Spangler décrit plus de trente programmes commerciaux d'entraînement auditif. Néanmoins, cette situation peut varier selon les niveaux d'enseignement et les pays. Une étude de 2008 [212] sur l'intégration de la technologie dans l'Ohio (États-Unis) a révélé que les enseignants ne se sentaient pas entièrement à l'aise avec l'utilisation de la technologie. Une enquête sur l'utilisation de la technologie au Québec a montré que seule une fraction des enseignants utilisaient des outils numériques dans leurs cours de développement de l'oreille musicale [644]. Au Mexique, une étude a suggéré que les étudiants de premier cycle en difficulté avec la matière bénéficieraient de l'utilisation de ces outils [117].

Plusieurs des premières études ont souligné la mauvaise qualité sonore qui ne permettait pas aux étudiants d'avoir un bon environnement d'apprentissage et qui, de plus, engendrait une attitude négative chez eux [620, 350, 316, 420, 349].



### 2.3.3 Discussion

L'augmentation exponentielle des recherches sur le sujet au cours des dernières années pourrait être due en partie au changement de paradigme et à la réflexion provoqués par la pandémie de COVID-19 et les confinements associés [473]. Les enseignants ont dû s'adapter à un environnement d'enseignement à distance et les étudiants ont dû utiliser de nouveaux outils et adopter de nouvelles attitudes pour apprendre. Les recherches menées pendant cette période mettent en évidence les stratégies alternatives que les enseignants ont dû concevoir pour poursuivre l'enseignement. L'analyse de Sijia Xue et Helen Crompton en 2024 [857] montre que la crise sanitaire a eu un impact important sur les technologies de l'éducation, en particulier en ce qui concerne les facteurs d'influence, l'efficacité, les défis et les enseignants du supérieur.

Il est possible que l'augmentation du nombre de recherches disponibles au cours des quatre dernières années soit liée au fait qu'il est plus facile de publier des recherches qu'auparavant. De plus, comme notre recherche a été effectuée à l'aide de Google Scholar, il est possible que de nombreux articles pertinents n'aient pas été indexés d'une manière qui les rende accessibles.

Il est important de noter que 44% des recherches étaient consacrées à l'examen des technologies et à la recherche de moyens d'intégrer la technologie en classe. L'article de Blaženka Divjak [205] a examiné comment les « classes inversées » fonctionnaient dans l'enseignement supérieur pendant la pandémie de COVID-19, lorsque l'apprentissage en ligne est devenu la norme. Les classes inversées impliquent que les étudiants apprennent des informations de base en dehors des cours, puis utilisent le temps de classe pour des activités et des discussions. Les chercheurs ont examiné 205 études et ont constaté que les professeurs qui utilisaient déjà les classes inversées avant la pandémie étaient plus à même de les adapter à l'apprentissage en ligne.

La plupart des études rassemblées pour cette revue décrivent le développement de nouveaux outils numériques pour l'apprentissage musical. Parmi ces études, 61,1% ont procédé à une évaluation de l'outil proposé. Cependant, il existe encore un nombre important d'outils numériques anciens et récents qui sont développés mais non testés. De plus, on constate un manque de cohérence

dans l'évaluation et la description des résultats. Cela peut être dû en partie au fait que l'enseignement musical peut varier considérablement dans son mode d'instruction selon les pays et les cultures. Même si cette question peut faire partie de la difficulté à mesurer les compétences et les connaissances musicales (surtout en matière d'apprentissages auditifs), l'utilisation d'une structure standardisée pour la mise en œuvre de ces outils pourrait être bénéfique pour la recherche sur ce sujet. Les différences de durée de la phase d'implémentation des études rendent leurs résultats difficiles à comparer également.

Il convient de noter que la discussion sur le transfert des connaissances et la valeur globale des exercices et des dictées musicales [406, 429, 457, 112] sortent du cadre de cette étude. Néanmoins, nous avons constaté que certains articles tentent d'étendre l'éducation de l'oreille à l'utilisation de la contextualisation des exercices. De plus, Heinsen et Heinsen ont publié en 2019 une étude portant directement sur le problème du transfert de l'entraînement de l'oreille musicale [340]. De nombreux articles adaptent l'entraînement de l'oreille à leur propre culture musicale et intègrent une pédagogie active par le biais de la composition et de l'improvisation. Bien que cela ne soit pas pris en compte dans cette étude, des tentatives d'éducation de l'oreille chez les enfants d'âge préscolaire ont été faites par le biais de la composition, en développant des moyens permettant aux enfants de créer et de manipuler des sons.

Il est intéressant de noter que quelques études ont tenté de combiner un feedback multisensoriel (de manière expérimentale à petite échelle) pour l'entraînement de l'oreille. Les systèmes de réalité virtuelle et augmentée sont de plus en plus étudiés et suscitent de l'intérêt, parallèlement à l'évolution technologique qui les rend plus performants et abordables.

Certaines recherches ont tenté de développer de nouveaux moyens d'évaluation et de rétroaction pour l'apprenant. C'est le cas des tests automatisés et des systèmes de reconnaissance de la hauteur des sons. Il existe de nombreuses recherches sur les logiciels de suivi musical qui permettent de s'entraîner à la synchronisation de la lecture et de donner un feedback sur l'interprétation d'un morceau de musique, étant le logiciel SmartMusic le plus étudié.

En général, les étudiants sont motivés par l'intégration d'outils numériques dans leur apprentissage de l'oreille musicale. Dans de nombreux articles, l'atti-

tude positive perçue envers l'utilisation de la technologie varie, en particulier selon que les étudiants ont eu ou non le choix de l'utiliser. Les études où la participation était volontaire montrent des attitudes plus positives que celles où les participants n'avaient pas le choix.

La réflexion sur le contenu et l'évaluation de l'oreille musicale se fait depuis les premiers essais d'intégration de la technologie numérique. Killam et Scott [420] se concentraient déjà en 1981 sur le développement de l'attention et de la mémoire. On trouve également des exemples de logiciels utilisés pour intégrer des pédagogies musicales actives [355], en particulier la méthode Kodály [237, 424]. La gamification a également été considérée comme un aspect précieux et attire une attention accrue dans les derniers développements [629, 627, 593].

En fait, la recherche de différentes manières d'interagir avec le contenu, en donnant des possibilités supplémentaires de percevoir les éléments et les caractéristiques auditives pour les rendre mémorables, est une tendance commune dans le corpus. Différentes manières de comprendre et de se relier aux concepts et aux relations auditives ont été recherchées, allant de la création de plus de sens par la contextualisation avec de la musique réelle à la gamification et au feedback sur les progrès des pairs. La mise en œuvre de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée suit la même tendance, qui peut d'une certaine manière être liée aux approches de pédagogies constructivistes et connectivistes. Dans le cas de l'utilisation des nouvelles technologies, l'objectif est que l'élève s'engage avec les concepts musicaux par différents moyens et, ce faisant, acquière une compréhension plus rapide des relations auditives que sans l'utilisation de ce type d'outils ou sans se rendre compte par le biais d'un jeu au contenu éducatif. L'intérêt d'accélérer le temps de création de ces connaissances réside dans la motivation et l'engagement que l'élève ressentira par la suite.

### **2.3.4 Limitations de cette revue**

Même si un grand nombre d'articles ont été inclus, certaines des études existantes sur le sujet n'étaient pas disponibles car elles existent uniquement sous forme de publications physiques, inaccessibles en ligne. C'est le cas notamment pour un certain nombre d'articles anciens sur l'enseignement assisté par ordina-

teur (EAO). Il est possible que de nombreux articles de 2024 aient été omis car ils n'étaient pas encore téléchargés ou indexés à la date de l'extraction (15 avril 2024). Cela pourrait signifier que le nombre d'articles pour la dernière année pourrait être supérieur, ce qui indique que la recherche exponentielle sur le sujet est toujours en expansion.

## 2.4 Applications du numérique dans l'apprentissage auditif en France

Afin de comprendre les objectifs actuels, les besoins et les contraintes concernant l'utilisation des outils numériques pour l'apprentissage auditif, j'ai interviewé des professeurs de conservatoire, des enseignants à l'université, des conseillers pédagogiques pour l'intégration technologique et des développeurs d'applications. De plus, j'ai utilisé une partie des enquêtes présentées dans le chapitre précédent pour explorer le sujet parmi les étudiants de licence et de master à Sorbonne Université.

### 2.4.1 Point de vue des professeurs de conservatoire

Afin d'analyser la place du numérique dans les apprentissages auditifs au conservatoire, des questions portant sur l'intégration des outils numériques ont été posées lors d'entretiens avec des enseignants en formation musicale (FM). Les trois participants à ces entretiens sont les mêmes professeurs qu'ont partagé leur opinion sur les apprentissages auditifs dans le chapitre précédent. Les professeurs se sont exprimés sur l'utilisation du numérique dans l'enseignement et ils ont exploré des idées sur un outil numérique qui pourrait leur être utile.

Voici une courte description de chaque professeur :

- ENSEIGNANT DE CONSERVATOIRE 1 (EC1) : Diplômé d'État de professeur de formation musicale, il a une expérience diversifiée dans l'enseignement, avec des élèves de tous âges. Il a également une pratique musicale personnelle en tant que guitariste de jazz.
- ENSEIGNANT DE CONSERVATOIRE 2 (EC2) : Organiste et spécialiste de la formation musicale, il a enseigné à Rouen, Nancy et Tours. Il a

également été directeur adjoint d'un pôle supérieur et est impliqué dans l'Association des Professeurs de Formation Musicale (APFM).

- ENSEIGNANT DE CONSERVATOIRE 3 (EC3) : Pianiste de formation, il s'est spécialisé dans la formation musicale et l'enseignement en groupes. Il est titulaire du Diplôme d'État et du Certificat d'Aptitude.

L'intégralité d'entretiens est disponible dans le lien suivant : [https://drive.google.com/drive/folders/1m2vkH\\_QR5bjYsbf7j7dSwiCwqLwpcSnh?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1m2vkH_QR5bjYsbf7j7dSwiCwqLwpcSnh?usp=sharing)

### **L'utilisation du numérique dans l'enseignement**

Le EC1 décrit son approche pédagogique, utilisant le piano, la guitare et des enregistrements, pour illustrer les dictées rythmiques. Il souligne l'importance de contextualiser les exercices, notant que de nombreux logiciels proposent des exercices monodiques qui peuvent manquer de pertinence musicale. Il explique sa démarche progressive, exposant parfois la mélodie seule ou avec l'harmonie en dessous, afin d'habituer les élèves à une expérience plus réaliste de la musique. Il illustre son avis ainsi : « proposer une mélodie juste avec la main droite du piano, c'est juste une mélodie. Il y a peu d'informations à saisir. Alors que saisir la même information pendant qu'il y a aussi de l'harmonie en dessous, change pas mal les choses et les rapproche des réalités de la musique. »

Le EC1 critique les applications d'entraînement auditif et musical existantes, qu'il juge trop simplistes et répétitifs. Il estime qu'elles peuvent être utiles pour les débutants, mais qu'elles ne sont pas adaptées aux élèves plus avancés. Selon son expérience : « je dois en avoir essayé des dizaines, elles étaient toutes pareilles, et toutes, je sais pas... pas inutiles, mais en fait, au bout de 10 jours, t'en peux plus ». Il utilise Meludia avec certains de ses élèves, mais il ne le fait pas de manière systématique. Il estime que les élèves doivent avant tout se concentrer sur la pratique de leur instrument. Il explique : « c'est pas que c'est parfait du tout, mais c'est pas mal, je sais que pas mal de professeurs de formation musicale travaillent avec ça ».

Le EC2 fait partie de l'Association des Professeurs de Formation Musicale (APFM), laquelle a organisé en 2020 un congrès autour du numérique. Dans ce congrès, Amandine Fressier a présenté un webinaire d'une matinée dans lequel

Fressier montrait des outils numériques en libre-service à disposition d'enseignants en musique. Marie-Aline Bayon, également spécialiste du numérique, est évoquée en tant qu'auteure d'un livre et figure influente dans le domaine, qui a créé une école de musique « connecté ». (Ces deux personnes ont été également interviewées).

Bien qu'il soit enthousiaste quant à l'utilisation de ces outils dans divers domaines, le EC2 exprime des réserves spécifiques concernant leur application à la formation de l'oreille. L'enseignant évoque une rencontre sur le numérique qui a eu lieu il y a environ huit ans, où une approche individualisée de la formation musicale a été présentée. Il critique cette approche qui place chaque enfant derrière un ordinateur avec un casque, soulignant que « l'intérêt de la formation musicale, en tout cas pour moi, c'est cette vie commune musicale et qu'on perdrait complètement si on mettait tous les enfants derrière un ordinateur. Donc ça c'est la première limite que j'y trouve ». Il fait valoir que l'interaction directe avec des instruments et d'autres élèves est cruciale pour la compréhension et l'appréciation de la musique.

Une seconde préoccupation du EC2 (partagé par le EC1 et le EC3) concerne la dissociation fréquente des exercices numériques du répertoire musical. Il critique les applications qui génèrent aléatoirement des dictées de rythme ou de notes, soulignant que cela renvoie à une approche théorique et technique plutôt qu'à une immersion pratique dans le répertoire musical. Il évoque les réformes passées en France, soulignant l'importance d'intégrer la technique avec le répertoire pour une compréhension plus profonde de la musique. Selon lui ces exercices vont contre les idéals de l'enseignement de la musique en France où il affirme que « rien ne sert de faire de la technique si c'est à la seule fin de faire de la technique. Mais il faut passer par le répertoire pour en comprendre les éléments, pour après pouvoir l'appliquer dans du répertoire. »

Malgré ces réserves, le EC2 reconnaît certains avantages du numérique dans son enseignement. Il souligne notamment la facilité d'accès aux ressources partagées, telles que des enregistrements et des liens YouTube, qui enrichissent l'apprentissage des élèves. Il utilise des plateformes comme Padlet pour partager des ressources adaptées à chaque classe, favorisant ainsi une approche plus personnalisée de l'enseignement musical. En outre, l'enseignant met en avant

la possibilité d'enregistrer des accompagnements avec son smartphone, offrant ainsi des ressources adaptées au niveau et aux besoins spécifiques de ses élèves pour le travail à la maison. Il considère cela comme un véritable changement par rapport à une époque où de telles adaptations personnalisées étaient difficiles à réaliser. Il explique : « quand on fait des chants en classe, il y a des enfants qui vont leur faire chez eux, et qu'ils vont avoir un parent musicien qui va pouvoir les accompagner. Et puis, on a d'autres qui n'ont pas de parents musiciens, même pas les accompagner, même pas à les aider pour chanter do ré mi fa sol. Donc ça c'est aussi une grande différence. C'est à dire que moi je m'enregistre, juste avec mon smartphone chez moi, pas mal d'accompagnements et j'ai moyen de leur envoyer ou de le mettre sur Padlet, c'est pareil. Et ça pour moi, c'est un vrai changement »

Dans le cas du EC3, bien qu'il ait connaissance de certaines applications telles que Meludia, Ear Master Pro, et GNU Solfège, il souligne leur utilisation limitée en raison de leur coût après les niveaux gratuits. Le EC3 a évoqué la possibilité d'un partenariat entre la mairie de Paris et Meludia, mais cela ne s'est pas concrétisé. Il explique que la gratuité est cruciale dans le contexte du service public, et il ne peut pas demander aux élèves de payer des abonnements. Cependant, il conseille parfois ces applications pour l'entraînement individuel. Dans ses mots : « Je peux juste leur dire : « Il y a ça, va voir, et puis si ça te plaît, après, tu fais ce que tu veux. » ».

L'enseignant EC3 mentionne les difficultés liées à l'installation de logiciels comme EarMaster sur les ordinateurs protégés par des mesures de sécurité de la ville de Paris. Malgré ces obstacles, il explore d'autres outils tels que Padlet pour partager du contenu en ligne, notamment des liens vers YouTube et IMSLP pour les partitions. Le EC3 observe une augmentation de l'utilisation des outils numériques par les enseignants, en particulier depuis la pandémie, qui a forcé l'adoption de ces technologies. Il note que la jeune génération d'enseignants, ayant déjà une expérience numérique en tant qu'étudiants, s'approprie plus facilement ces outils. Cette évolution positive, selon lui, reflète une tendance croissante vers l'intégration des technologies dans l'éducation musicale. Il explique : « Je ressens ça, alors particulièrement depuis deux ans, avec la pandémie, là, ça a vraiment boosté, je trouve, non seulement l'intérêt, mais aussi la connais-

sance que les enseignants ont de ces outils. Parce qu'on n'a pas eu le choix, en fait, on a été obligé. Et bon, je pense qu'il y a des gens avant qui, qui étaient attirés, mais qui peut-être ne prenaient pas le temps, ou bon, voilà, et là, voilà, ça nous a vraiment mis le pied à l'étrier. »

Le EC3 partage également son avis sur l'application Meludia après l'avoir testée récemment. Il souligne les points positifs tels que le design attrayant de l'interface, la qualité sonore élevée de l'instrument échantillonné, et l'approche sensorielle axée sur l'écoute avant la reconnaissance. Cependant, il émet des réserves quant à certains aspects de l'application. Tout d'abord, il critique le fait que toute la musique tonale ou modale soit systématiquement en do, considérant cela comme « problématique, parce que ça ne correspond pas à la réalité ». Il exprime également des préoccupations concernant l'interface de réponse utilisant des chiffres, qu'il trouve peu naturelle par rapport à son expérience d'apprentissage et la manière dont la musique est enseignée et analysée en France. Un autre point négatif mentionné est la profusion d'exercices dans l'application, estimant que le cheminement progressif peut être presque trop long et décourageant pour certains utilisateurs. Il souligne que bien que cela puisse être vu comme un inconvénient par certains, d'autres pourraient l'interpréter comme une approche plus lente et méthodique.

### **Idées pour la création d'un outil numérique**

Le EC1 discute de la manière dont une application pourrait être plus efficace dans l'enseignement de la formation auditive en présentant des concepts musicaux dans divers contextes. Il souligne le besoin de montrer comment les intervalles et les accords sonnent différemment selon le style musical, l'instrument et le contexte harmonique. L'idée est de fournir aux élèves une expérience interactive où ils peuvent travailler sur des extraits musicaux spécifiques, en retirant des parties, en ajustant la vitesse, en renforçant certaines fréquences, et en comprenant comment ces éléments fonctionnent dans divers contextes. Il explique : « Par exemple, apprendre les intervalles et présenter, par exemple, le même intervalle dans des contextes stylistiques ou harmoniques différents. D'accord, parce qu'une tierce mineure, c'est vrai que c'est une tierce mineure,



mais quand tu la joues sur une dominante, elle ne sonne pas de la même façon que quand tu la joues sur des degrés différents de l'harmonie, et dans un style musical différent. ».

L'exemple de la tierce mineure dans un accord dominant est utilisé par le EC1 pour illustrer l'importance de la contextualisation. Une tierce mineure est un élément musical simple, mais son intervalle peut être interprété différemment en fonction du contexte dans lequel elle est jouée. Dans un accord dominant, la tierce mineure est jouée entre la quinte et la septième de l'accord. Ces notes sont respectivement la seconde et la quarte de la tonalité majeure. Par conséquent, une tierce mineure dans un accord dominant peut être entendue comme une seconde mineure ou une quarte augmentée. Pour un élève qui apprend à reconnaître les intervalles, il est important de pouvoir identifier la tierce mineure dans différents contextes. Une application pédagogique pourrait aider les élèves à développer cette capacité en présentant des exercices dans lesquels la tierce mineure est jouée dans des contextes différents. L'objectif est d'immerger les étudiants dans des situations musicales réelles, offrant ainsi une compréhension plus profonde et une meilleure restitution. Le professeur suggère également que les applications peuvent être plus engageantes et pratiques que les méthodes traditionnelles d'enseignement, en offrant une expérience immédiate sans distractions.

Le EC1 donne d'autres idées pour l'étude d'intervalles, par exemple : « même pour les éléments verticaux de l'harmonie, tu vois, dans un accord joué par un clavecin, dans un accord joué par une guitare, dans un accord joué par un orchestre, dans un intervalle divisé entre deux instruments différents, toutes ces choses-là, ça serait vraiment intéressant ». Il parle aussi d'un exemple pour travailler la restitution : « tu as le quatuor de Mozart, et tu enlèves l'alto, et après, tu vas lire et chanter avec l'enregistrement, en faisant la partie de l'alto, après on remet l'alto. Tu enlèves le violon, tu peux le ralentir, tu veux l'accélérer, tu peux renforcer certaines fréquences pour entendre mieux la basse, pour entendre mieux un autre instrument. Ça, je trouve que ça serait intéressant. Et aussi, plus ça serait, ça serait vraiment amusant, tu vois, parce que tu es toujours dans le contexte, et ça, en fait, est la chose qu'une appli peut faire mieux qu'un professeur, parce qu'un professeur doit toujours télécharger la

vidéo, brancher le portable, faire le hotspot wifi ». Selon le EC1 une application qui pourrait travailler de cette manière serait bien accueillie par l'ensemble de la population des conservatoires en France car elle ressemble souvent la méthode d'enseignement de la formation musicale.

Le EC2 émet l'idée similaire d'utiliser des outils numériques pour faciliter le déchiffrage, en permettant aux élèves de travailler sur des thèmes classiques avec des repères sur un outil numérique. Il envisage également la possibilité d'utiliser l'ordinateur pour détecter les erreurs lors du déchiffrage, par exemple, en signalant si une note n'est pas correcte. Il souligne l'importance de rendre les exercices vivants et en lien avec un répertoire, mettant en avant l'idée d'une dictée musicale interactive et dynamique. Il exemplifie un type d'exercice qui serait intéressant à faire avec un outil numérique : « quand un élève me disait j'entends pas la basse, et je disais : si tu entends pas la basse, commence par te prendre tous les quatuors de Mozart, et puis, tu chantes la basse en même temps que tu l'écoutes sur un enregistrement. »

L'idée d'utiliser des applications pour jouer des thèmes avec un support orchestral est également évoquée par le EC2. L'enseignant suggère la possibilité d'ajuster le niveau de difficulté de l'exercice, tout en soulignant l'importance de ne pas rendre les exercices trop mathématiques ou aléatoires, mais plutôt adaptés aux besoins et au niveau de l'élève. Il imagine une application qui pourrait fournir des indications ou laisser des espaces vides entre les notes pour stimuler l'écoute active et la reproduction des thèmes. Bien que l'enseignant n'ait pas de réponse claire sur la manière dont le numérique pourrait être intégré de manière optimale, il exprime sa conviction qu'il existe des possibilités. Il souligne l'importance de rendre les exercices interactifs, vivants et liés au répertoire musical, tout en maintenant un équilibre entre les défis musicaux et la progression adaptée au niveau de chaque élève.

Le EC3 propose une approche axée sur le travail des contours mélodiques. Il suggère un outil graphique permettant de visualiser les séquences mélodiques, mettant l'accent sur le positionnement relatif des hauteurs. Cette visualisation pourrait aider les élèves à identifier des motifs récurrents dans une mélodie, améliorant ainsi leur compréhension du développement mélodique ; « c'est-à-dire le positionnement relatif des hauteurs les unes par rapport aux autres dans

une séquence, et pas simplement est-ce que ça monte ou est-ce que ça descend, tu vois, mais vraiment le shape ou le gestalt, si tu veux, c'est-à-dire, par exemple, tu vois, si je te fais, une petite séquence. Et bien avec un, je ne sais pas comment dire, mais ça pourrait être une ligne avec des points, et puis il faudrait tirer les points pour, tu vois, pour aller vers le haut ou vers le bas. »

Une autre idée évoquée par le EC3 concerne l'intégration d'une capsule de notation musicale dans un logiciel de transcription. Cette fonctionnalité simplifiée permettrait aux élèves d'entraîner leurs compétences de transcription en leur permettant de noter les notes et le rythme de manière interactive. Il suggère également d'incorporer la possibilité de jouer la réponse de l'élève, favorisant ainsi un apprentissage actif et itératif.

#### 2.4.2 Point de vue des enseignants à l'université

Dans cette sous-section, nous explorons la partie consacrée au numérique dans les entretiens réalisés avec les enseignants de Sorbonne Université. Les quatre enseignants de culture de l'écoute se sont exprimés sur l'utilisation du numérique dans les cours, les idées qu'ils ont pour envisager une intégration plus importante du numérique dans leurs cours, leurs connaissances spécifiques sur les outils numériques pour l'apprentissage auditif et les limites qu'ils identifient vis-à-vis des nouvelles technologies.

Voici une courte description de chaque professeur :

- Enseignant 1 (E1) : 15 ans d'expérience, a débuté pendant sa thèse. Spécialisé dans la préparation à l'agrégation (épreuve orale d'harmonisation).
- Enseignante 2 (E2) : 15 ans d'expérience, enseigne également l'harmonisation et l'écriture.
- Enseignante 3 (E3) : Expérience au conservatoire et à Sorbonne Université, remplace actuellement un collègue.
- Enseignant 4 (E4) : 3 ans d'expérience, anime un cours de culture de l'écoute pour les étudiants de première année. Considère cette activité comme un moyen de tester de nouvelles approches pédagogiques.

L'intégralité d'entretiens est disponible dans le lien suivant : [https://drive.google.com/drive/folders/1m2vkH\\_QR5bjYsbf7j7dSwiCwqLwpcSnh?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1m2vkH_QR5bjYsbf7j7dSwiCwqLwpcSnh?usp=sharing)

### Utilisation actuelle du numérique

L'E1 reconnaît l'importance des applications d'*ear training* et encourage les étudiants à les utiliser pour améliorer leurs compétences musicales. Il explique : « On leur donne une webographie avec un ensemble d'applications en ligne, de plein de choses, qu'on remet à jour à chaque fois, et qui sont gratuites, parfois payantes, qui deviennent payantes après un certain niveau. Et c'est effectivement, je redis, que ce travail-là est d'un travail que nous on fera au minimum en cours. Parce que nous on va dans le répertoire. » Bien qu'il n'intègre pas ces outils en classe, il fournit une liste d'applications telles qu'Ear Master, Good Ear, Perfect Ear, Meludia, et My Ear Training. L'E1 souligne que ces ressources sont complémentaires à son approche musicologique, aidant les étudiants à progresser dans le répertoire musical. Il considère que le travail sur le répertoire est essentiel pour développer l'oreille musicale. Les outils numériques permettent de développer les compétences auditives de base, mais ils ne peuvent pas remplacer le travail sur des œuvres musicales concrètes.

L'E2 explique qu'elle utilise Moodle pour déposer des ressources pédagogiques, telles que des fiches de cours, des extraits musicaux, ou des exercices. Elle pense que cela est utile pour les étudiants, car cela leur permet d'accéder à ces ressources à tout moment et à leur rythme. Un aspect négatif évoqué par l'E2 est la faible utilisation de Moodle par les étudiants, attribuée en partie à des problèmes d'inscription et à la nécessité d'établir des habitudes d'utilisation chez eux. L'enseignante mentionne également le cas d'une collègue ayant rencontré la frustration de créer des ressources qui étaient finalement peu utilisées par les étudiants. Elle a raconté : « je sais qu'une collègue avait été très frustré une année parce qu'elle avait mis pleins de ressources sur le Moodle pour que les étudiants puissent s'entraîner et finalement ils étaient trop peu à le faire. Et le bénéfice du temps qu'on investit pour faire ses ressources et de de ceux qui les utilisent vraiment c'était un peu frustrant. Mais peut-être que c'est une question d'habitude à installer ». Elle pense qu'il est important de sensibiliser les étudiants à l'importance de travailler régulièrement pour développer leur oreille. Elle souhaite également proposer des activités plus interactives sur le Moodle, afin de rendre l'apprentissage plus ludique et engageant.

L'E3 exprime son manque de familiarité avec les outils numériques en formation auditive, citant solfégo.fr et Méludia comme exemples qu'elle connaît vaguement. Elle mentionne avoir récemment observé la partie harmonique de Méludia, mais ses impressions sont mitigées. Elle souligne des lacunes, notamment dans la reconnaissance d'accords, critiquant l'aspect sonore et le manque d'explications sur les erreurs des apprenants. L'enseignante remet en cause l'ampleur des outils numériques actuels, les considérant comme basiques, voire limités dans leur capacité à enseigner la formation auditive complète. Elle met en avant le besoin d'une méthodologie plus avancée, capable de structurer l'écoute, de développer des connaissances et d'inculquer l'autonomie face à une partition. Selon elle, les outils numériques actuels ne répondent pas aux attentes de l'enseignement de la formation auditive, nécessitant une évolution significative pour être véritablement efficaces dans ce domaine. Elle reconnaît toutefois que son point de vue est basé sur une connaissance limitée et suggère que d'autres, plus familiers avec ces outils, pourraient avoir des opinions différentes. Elle affirme : « en aucun cas, ça n'a l'envergure de ce qu'on veut apprendre en formation auditive, et de ce qu'on veut former, et qui est structurer l'écoute. Structurer l'écoute, structurer la façon de faire, les connaissances, donner l'autonomie face à une partition, je vois pas comment ça peut arriver là ».

L'E4 soulève une difficulté fréquente dans l'apprentissage musical, à savoir l'association entre la reconnaissance auditive et la capacité d'écrire les notes sur une partition. Il mentionne que cette connexion entre la restitution orale et la restitution écrite pose des problèmes récurrents tant dans l'enseignement de l'écriture que dans celui de la culture de l'écoute. Il exprime le besoin d'outils en ligne qui permettent de travailler spécifiquement cette compétence, c'est-à-dire la capacité de transcrire oralement identifiée à l'écoute sur une partition. L'enseignant souligne l'importance de cette compétence dans l'apprentissage musical, illustrant la différence entre être capable de chanter un accord parfait et d'écrire les notes correspondantes avec le bon rythme sur une partition. Il dit « Parce que souvent, dans le cadre de l'enseignement, que ce soit de l'écriture ou de la culture de l'écoute, une des choses qui pose vraiment problème, c'est la connexion entre ce qu'on reconnaît à l'écoute ou ce qu'on est capable de restituer vocalement, de chanter, et ce qu'on est capable d'écrire sur une partition. »

### **Idées pour l'utilisation d'un outil numérique**

**Le timbre** L'E1 considère que la diversité des timbres est un point positif à la faveur du numérique. Selon lui, la qualité des applications existantes peut être correcte et suggère qu'elles pourraient être utilisées en classe avec plus de temps. Il mentionne : « S'il y a une difficulté d'écoute je la joue au piano, c'est parce que je sais le réduire au piano. Pour moi c'est pas un problème du tout, c'est quelque chose de naturel. Le désavantage c'est le timbre, tout c'est toujours le même timbre. Et le but de ce cours c'est justement qu'ils puissent identifier parfois des éléments quelles que soient les timbres. »

Bien que l'E1 trouve les applications existantes utiles, il les voit comme un préalable au travail en classe. Il encourage les étudiants à utiliser ces outils, gratuits pour la plupart, en les incitant à chanter dans leur tête avant de répondre. L'accent est mis sur la nécessité de reconnaître les éléments musicaux dans divers contextes, transcendant les différences de timbres.

**Manipulation des objets musicaux** L'E1 dit que l'utilisation des outils numériques doit se faire tout en soulignant l'importance de contextualiser et de manipuler les objets musicaux dans des pièces réelles

Un avantage du numérique est qu'il permet d'avoir une grande quantité d'exemples d'un même élément musical. Il décrit son approche pédagogique, axée sur l'écoute active, la discussion, le chant et l'écriture, soulignant la nécessité de relier ces éléments aux œuvres musicales concrètes. L'E1 encourage les étudiants à composer de courtes pièces musicales intégrant les concepts étudiés, favorisant ainsi leur engagement et leur compréhension. L'E1 explique comment la préparation des cours implique des recherches approfondies et l'écoute de nombreuses œuvres, tout en encourageant les étudiants à explorer des playlists créées par d'autres passionnés de musique disponibles sur YouTube. Il souligne que : « ce qui prend beaucoup de temps c'est d'abord trouver suffisamment de sources musicales c'est un gros travail de préparation de notre part enseignantes et enseignants de trouver du répertoire. Pour montrer aux étudiants « regardez ça, on le trouve dans cette pièce-là, dans celle-ci ». Pour leur montrer vraiment que c'est un élément important de cette époque, dire « regardez, on le trouve

partout, mais pas que chez ce compositeur » ça les intéresse en fait parce que ça correspond tout simplement à des réalités musicales. »

L'E1 insiste sur le rôle central de l'enseignant dans la création d'un environnement d'apprentissage dynamique, impliquant des interactions constantes entre les éléments musicaux, les étudiants et l'enseignant. L'intégration des outils numériques est envisagée comme un moyen d'améliorer l'accès aux ressources, mais la préservation d'une interaction humaine et musicale reste primordiale dans l'enseignement de la musique.

**La qualité sonore** Lors de la discussion sur les applications d'entraînement auditif, l'E2 souligne la nécessité d'améliorer la qualité sonore, de gérer les niveaux de difficulté de manière plus nuancée, et d'intégrer des exercices variés allant du simple au complexe. Elle exprime le besoin d'une application offrant une progression adaptée, permettant de travailler sur des répertoires variés, ce qui faciliterait la transition entre les exercices décontextualisés et l'application des compétences dans des contextes musicaux divers. Elle met en avant la difficulté actuelle de trouver des applications qui correspondent parfaitement à ces critères, évoquant la tendance des applications à être soit trop faciles, soit trop difficiles, sans couvrir l'ensemble des niveaux de compétence. L'enseignante insiste sur l'importance de lier les exercices à des extraits de répertoire spécifique étudié en classe, soulignant les défis inhérents à cette transition entre des exercices isolés et l'application des compétences dans un contexte musical plus complexe. Elle envisage positivement l'utilisation d'une application spécifiquement conçue pour les enseignants, soulignant que cela répondrait à une demande réelle, notamment dans le contexte de l'enseignement à distance, comme celui de leur licence entièrement en ligne. Enfin, l'E2 suggère que l'application idéale devrait couvrir un large éventail de répertoires musicaux, reflétant la diversité des contenus abordés dans le cadre de leur programme, allant de la musique tonale à la pop, du jazz à la musique de la Renaissance, voire d'autres traditions musicales non européennes. Une telle application pourrait faciliter l'enseignement de la culture de l'écoute et répondre aux besoins des étudiants avec des niveaux de compétence variés. L'enseignante s'exprime ainsi : « Oui, c'est toujours compliqué de passer des exercices de piano au répertoire. Il y a une

transition qui n'est pas facile. Des fois ils y arrivent très bien comme ça, et puis dès qu'on passe sur du répertoire il y a tellement de choses qui entrent en jeu que ça devient difficile de rester focalisé sur le paramètre qu'on travaillait. Et puis enfin des intervalles pris dans une progression harmonique ils ne s'entendent plus de la même façon que quand ils s'entendent tout seuls. »

L'E2 considère aussi que le travail vocal permet aux étudiants de développer leur oreille interne, l'imitation permet aux étudiants de développer leur capacité à reconnaître les sons, et le travail polyphonique permet aux étudiants de développer leur capacité à écouter les autres et à s'intégrer à un ensemble. L'enseignante estime que les outils numériques ne peuvent pas remplacer l'enseignant dans l'enseignement de la culture de l'écoute, cependant elle serait intéressée par des outils numériques pour travailler l'intonation vocale, car elle considère celle-ci comme un pilier des apprentissages auditifs. Elle dit : « Soit le niveau est trop difficile, soit on a toujours un son piano pas satisfaisant, des sons MIDI. C'est un petit peu ce qui me fait buter. J'ai cherché une application aussi pour s'entraîner à la lecture de notes tout simplement et pareil j'ai pas trouvé d'applications qui me satisfaisaient vraiment. »

**Feedback immédiat et suivi du progrès des étudiants** L'E3 commence par souligner que ces outils peuvent être utiles pour l'entraînement, mais qu'ils ne peuvent pas remplacer l'enseignement traditionnel. Elle explique que les outils numériques peuvent fournir un feedback immédiat aux élèves, proposer des exercices adaptés à leurs besoins et générer des jeux et des activités ludiques. Cette enseignante cite ensuite l'exemple de l'harmonie pour illustrer ses idées. Elle pense qu'un outil numérique pourrait être utilisé pour vérifier que les élèves connaissent les bases de l'harmonie, proposer des exercices pour apprendre à reconnaître les fonctions principales et proposer des jeux pour apprendre à construire des accords.

Enfin, l'E3 est favorable à l'idée que les enseignants aient accès aux données collectées par les outils numériques. Elle pense que ces données pourraient être utilisées pour suivre la progression des élèves et adapter l'enseignement.



**Lien avec la notation** L'E4 exprime le besoin d'un outil pédagogique qui faciliterait la connexion entre la reconnaissance auditive et la transcription écrite. L'enseignant mentionne le besoin d'un exercice où les étudiants doivent improviser des canons à l'unisson, en utilisant des intervalles spécifiques. Cette pratique exige que les étudiants chantent des mélodies improvisées tout en nommant les notes, les obligeant ainsi à anticiper et associer les sons avec des syllabes. Il s'exprime ainsi : « En fait, le but serait vraiment de rendre plus fluide et d'apporter à l'étudiant plus de facilité à connecter l'écrit et le sonore, c'est-à-dire non seulement être capables de reconnaître des choses, de répéter des choses à l'oral, ou de mémoriser des formules mélodiques, par exemple, mais être capable de les écrire. Et puis, je pensais aussi à une autre chose qui est, je trouve, qui pose des difficultés, c'est le fait de mettre des syllabes et de sonorisation sur les notes ».

### **L'utilisation d'outils numériques d'apprentissage dans les cours**

L'E1 explique utiliser la plateforme Moodle pour fournir aux étudiants une synthèse des cours avec des liens YouTube pour les extraits musicaux discutés en classe. Il propose d'aller plus loin en intégrant des exercices d'entraînement spécifiques à chaque élément du cours des articles et des vidéos, sans évaluation obligatoire. L'E1 utilise des QCM sur Moodle, où les étudiants doivent identifier des formules spécifiques. Il dit par exemple : « Ces formules ont des noms, etc. Donc il s'agit de les reconnaître, de les identifier. Et donc, c'est vrai que là j'imagine par exemple, sur Moodle proposer un QCM où je mettrai plusieurs formules, et lorsque la réponse est fautive de leur montrer. . . »

Ces QCM pourraient comporter plusieurs écoutes, offrant une approche plus nuancée que la simple question-réponse. L'E1 souligne que bien faits et structurés de manière intelligente, les QCM peuvent être instructifs et pertinents, suggérant ainsi une évolution des pratiques d'évaluation dans le domaine de l'éducation musicale.

Un problème présent avec Moodle c'est que si bien il est accessible depuis les smartphones, il n'est pas très performant. Moodle sert principalement d'espace d'échange et d'accès aux matériaux de cours. L'enseignant utilise le courriel pour

communiquer avec les étudiants.

Un point négatif des QCM sur Moodle est lié au temps que les enseignants doivent consacrer pour la création d'exercices. Selon L'E1 et L'E2 il prend beaucoup de temps à mettre en place des exercices sur Moodle. Aussi ils se sont exprimés par rapport au manque de formation sur l'utilisation de cette plateforme. Cependant les enseignants partagent des connaissances entre eux par rapport à l'utilisation des outils dans Moodle.

L'E2 explique qu'elle a utilisé l'application TonedEar avec ses étudiants du groupe expérimental pour travailler sur les intervalles et les accords. Elle trouve que l'application est bien conçue et que les exercices sont variés. Cependant, elle trouve que les sons proposés ne sont pas assez diversifiés et qu'ils sont parfois de mauvaise qualité. Elle souhaiterait trouver des applications qui offrent des sons d'instruments réels, car elle pense que cela serait plus motivant pour les étudiants et que cela leur permettrait de développer une meilleure oreille. Elle souhaiterait également trouver des applications qui ne mettent pas l'accent sur la rapidité, car elle pense que cela est moins important que la précision. L'enseignante constate que les étudiants sont demandeurs d'outils numériques pour l'enseignement de la culture de l'écoute. Elle pense que cela est dû au fait que les étudiants sont de plus en plus habitués à utiliser les technologies numériques. Cependant, elle pense qu'il est important de les conseiller dans le choix des applications, car il existe de nombreux outils de qualité inégale. L'enseignante souhaiterait pouvoir évaluer la progression des étudiants lorsqu'ils utilisent des outils numériques. Elle envisage de créer des QCM d'entraînement avec des feedbacks pour les aider à identifier leurs erreurs et à progresser. Elle pense que cela serait un moyen efficace de suivre la progression des étudiants et de leur fournir un feedback personnalisé.

### **Les limites du numérique**

L'E1 exprime l'utilité des outils numériques, tout en soulignant l'importance de contextualiser et de manipuler les objets musicaux. Il décrit son approche pédagogique, axée sur l'écoute active, la discussion, le chant et l'écriture, soulignant la nécessité de relier ces éléments aux œuvres musicales concrètes. L'E1

incite les étudiants à composer de courtes pièces musicales intégrant les concepts étudiés, favorisant ainsi leur engagement et leur compréhension. Il soulève des questions sur la valeur ajoutée de l'enseignant dans un contexte numérique, en mettant en lumière le rôle de l'interaction et de l'adaptation constante de la méthode d'enseignement. L'entretien aborde la recherche de sources musicales et la crainte que des aspects techniques de l'*ear training* ne soient dissociés des œuvres musicales, soulignant l'importance de maintenir un lien direct avec le répertoire. Il dit que : « les éléments qu'on voit parfois, des fondamentaux de la musique, d'*ear training* sont soit trop techniques et complètement dissociés des œuvres musicales »

L'E1 explique comment la préparation des cours implique des recherches approfondies et l'écoute de nombreuses œuvres, tout en encourageant les étudiants à explorer des playlists créées par d'autres passionnés de musique. Il souligne le dilemme entre l'écoute passive et l'interaction active en classe. Il dit que l'étudiant a besoin de rester actif dans son apprentissage et essayer de chanter et manipuler les concepts étudiés.

Le même enseignant utilise la composition et l'improvisation des étudiants comme manière d'évaluer d'une autre manière la compréhension de la matière. Dans sa méthode pédagogique : « La consigne, la contrainte c'est de créer une petite pièce musicale très courte d'une minute trente ce qui est déjà pas si mal que ça, mais en investissant les éléments qu'on a vu en cours, et qu'ils se produisent devant les autres et devant moi du coup. Et qu'ensuite on puisse échanger pour voir les difficultés qu'ils ont pu avoir et puis moi de faire interagir le groupe, de dire au groupe alors là ils ont utilisé ça comment ils l'ont utilisé. »

Lors de la discussion sur l'utilisation des outils numériques dans l'enseignement, l'E2 exprime son auto-formation pour utiliser Moodle, soulignant sa facilité avec les outils numériques en tant que personne d'une génération qui les maîtrise. Cependant, elle reconnaît des difficultés dans la mise en forme numérique des exercices par rapport à l'enseignement oral en classe, tout en mentionnant les limites de Moodle pour la musique et le besoin d'utiliser un éditeur de partitions externe. Concernant l'enseignement à distance, elle partage son expérience avec les visioconférences et souligne les défis, notamment l'absence de chant, rendant difficile l'enseignement de disciplines sonores à distance.

Elle souligne l'importance de ne pas laisser le visuel prendre le pas sur l'auditif. Elle explique : « moi personnellement j'arrive à me débrouiller. Ce qui me pose plus de problème c'est de penser l'exercice en fonction du numérique. C'est le construire par rapport au numérique, parce que forcément c'est pas la même chose que quand je le fais en cours que c'est orale, où je vais avoir des interactions avec les étudiants. C'est plus la mise en forme numérique qui me pose problème que vraiment l'outil. Puis Moodle a aussi ses limites, c'est parfois un peu une usine à gaz. »

L'E3 estime que les outils numériques d'apprentissage peuvent être utiles pour l'entraînement, mais qu'ils ne sont pas suffisants pour l'apprentissage. Elle pense que les outils numériques ne fournissent pas de méthode, et qu'ils ne permettent pas aux étudiants de comprendre comment ils apprennent. Elle opine par exemple : « ce que j'en connais, ça fonctionne un peu comme un stimulus, on vous donne un truc, il faut réagir, l'étudiant doit réagir à un stimulus, mais les outils numériques, enfin, le peu que je connais, ne donnent pas de méthode, vous voyez. Ils permettent un entraînement, on s'entraîne, on clique »

Elle explique que les outils numériques permettent aux étudiants de s'entraîner de manière interactive, mais qu'ils ne leur fournissent pas les connaissances et les compétences nécessaires pour comprendre comment apprendre efficacement. Elle donne l'exemple d'un outil numérique qui permet aux étudiants de pratiquer le rythme. Cet outil peut être utile pour que les étudiants s'entraînent à identifier et à reproduire des rythmes, mais il ne leur donne pas de méthode pour comprendre comment le rythme fonctionne.

### 2.4.3 Point de vue des conseillers pédagogiques

Dans les entretiens avec les enseignants, il est devenu clair qu'il était important de comprendre l'avis et le travail de la conseillère pédagogique 1 (apport anonyme) (C1) et de Marie-Aline Bayon (MAB). Ces deux personnes se dédient à former les enseignants aux outils numériques pour faciliter leur travail. Cependant, même si toutes les deux sont axées vers les avantages offertes par le numérique, leur démarches et philosophie diverge envers la manière dont elles envisagent l'utilisation du numérique dans le cours. Une autre formatrice

d'enseignants, Marie Benoteau (MB), formatrice pédagogique pour la formation musicale a été également interviewée pour avoir un avis complémentaire sur l'évolution de la matière en France et du besoin d'enseignants.

L'intégralité d'entretiens est disponible dans le lien suivant : [https://drive.google.com/drive/folders/1m2vkH\\_QR5bjYsbf7j7dSwiCwqLwpcSnh?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1m2vkH_QR5bjYsbf7j7dSwiCwqLwpcSnh?usp=sharing)

### **Parcours des formatrices**

La conseillère pédagogique 1 (C1) décrit un parcours professionnel atypique débutant avec des études en informatique, suivies d'une transition vers la musique et l'enseignement du violoncelle et de la formation musicale. Elle prend ensuite la direction pédagogique d'une école de musique, découvre l'utilisation de l'ordinateur pour l'édition de partitions, et commence à intégrer cet outil dans ses cours. Suite à la fusion de son école avec un conservatoire, elle choisit de devenir formatrice à plein temps, créant son entreprise en 2018. Avec l'arrivée du COVID-19, elle développe des formations à distance, privilégiant des outils libres et gratuits pour une accessibilité démocratique. C1 a commencé à donner des formations sur les outils numériques pour l'enseignement à la suite de son expérience personnelle d'utilisation de l'ordinateur pour la préparation de cours, en particulier l'édition de partitions. Après avoir expérimenté l'intégration de l'ordinateur dans ses cours de Formation Musicale et de violoncelle, elle partage son expérience avec des personnes intéressées, notamment celles au sein d'une association qui subventionnent des projets culturels et des formations. Suite à cela, C1 a été sollicitée pour concevoir une formation pour ses collègues autour de Muscore, un logiciel d'édition de partitions. C'est ainsi qu'elle a conduit sa première formation sur demande, et cette initiative a connu un succès qui l'a encouragée à continuer. Elle a continué à dispenser quelques formations par an tout en étant professeure. C1 a commencé à donner des formations sur les outils numériques pour l'enseignement à la suite de son expérience personnelle d'utilisation de l'ordinateur pour la préparation de cours, en particulier l'édition de partitions. Le développement de son offre de formations numériques a pris de l'ampleur lorsque son école associative a été absorbée par un conservatoire, entraînant une perte de liberté et des contraintes accrues. Après six mois, C1 a

décidé de devenir formatrice à plein temps, créant son entreprise en 2018. L'explosion de la demande liée à la pandémie de COVID-19 a conduit à la conception de formations à la carte, offertes dans son catalogue.

Le parcours professionnel de Marie-Aline Bayon (MAB) a débuté lorsqu'elle avait 19 ans, moment où elle a commencé à enseigner la guitare. Pendant 20 ans, elle a enseigné la guitare et dirigé des ensembles tels que des groupes de musiques actuelles et des formations diverses. Outre son engagement dans l'enseignement musical, MAB a toujours été passionnée par le numérique depuis son jeune âge. En tant que professionnelle, elle a utilisé YouTube pour trouver des vidéos et s'inspirer d'interprétations. En tant qu'enseignante, elle a intégré le numérique dans ses cours à la fin des années 2010. Parallèlement à son activité d'enseignante, elle s'est formée à la direction de structure et de projet pendant 3 ans. Actuellement, elle est consultante numérique et enseignement artistique, formatrice, conférencière et directrice du réseau Art ConEcT, Solaure Music Lab et Consul'TICE.

Marie Benoteau (MB) a commencé en tant qu'enseignante au conservatoire de Poitiers, puis professeure PEA de formation musicale au conservatoire de Dijon, pendant 4 ans. Par la suite, elle a poursuivi sa carrière à Évry, en région parisienne, où elle a enseigné pendant 25 ans. Depuis 2014, elle a effectué une transition vers l'activité de formatrice pédagogique pour transmettre les éléments pédagogiques qu'elle a développés notamment au cours de sa période à Évry ainsi que plus récemment. Elle s'est spécialisée dans la formation initiale et continue, se rendant dans divers conservatoires et écoles de musique pour dispenser des formations aux professeurs et équipes pédagogiques. Elle intervient également dans des structures telles que les CeFEDeM (Centres de Formation des Enseignants en Danse et en Musique et de Danse de Paris), et les Pôles Sup pour la formation des futurs professeurs de conservatoire, et ponctuellement au CNSMDP (Conservatoire National Supérieur de Musique). Afin de poursuivre son évolution pédagogique et garder contact avec des élèves de tous âges, elle n'a cessé d'enseigner avec passion la formation musicale, dans différents établissements puis à la Schola Cantorum depuis 3 ans.

### Utilisation du numérique

C1 s'est intéressée aux logiciels de musique non pas par curiosité technique, mais par son engagement envers la pédagogie et la transmission. Sa préoccupation principale était de transmettre au mieux, en s'adaptant aux profils variés des élèves. Considérant le numérique comme un moyen pédagogique parmi d'autres, elle a exploré diverses approches, dont l'enseignement par l'improvisation libre et en collectif. Elle explique : « Donc le numérique, pour moi, c'était, c'est un moyen pédagogique comme un autre qu'avec certains élèves, ça va bien prendre, avec d'autres ça sera dur à prendre. Pour certaines choses ça va bien marcher, pour d'autres, ce n'est peut-être pas le meilleur moyen. Moi, je l'ai testé comme j'ai testé tout le reste. »

Le passage au numérique d'C1 a commencé par l'utilisation de Finale pour l'édition de partitions, mais elle a été frustrée par son aspect contre-intuitif. La découverte fortuite de Musescore a été déterminante. Ayant des moyens limités pour acquérir de nouveaux ordinateurs, elle a utilisé d'anciens ordinateurs portables et installé Musescore. Cette démarche l'a conduite à intégrer l'outil dans sa salle de cours, même avec un nombre limité d'ordinateurs, mettant en place des sessions dédiées à des exercices pendant environ 20 minutes.

Les exercices réalisés avec Musescore ont révélé des lacunes chez les élèves, même sur des concepts qu'elle pensait acquis. Musescore, en tant qu'éditeur de partitions, a fourni un cadre contraignant, obligeant les élèves à se confronter à des questions inattendues sur la durée des mesures, la durée des notes, etc. Cela a transformé l'outil en un moyen de soulever des questions et de mettre les élèves au défi de résoudre des problèmes, tout en posant un cadre différent pour l'apprentissage. Les élèves ont ainsi développé une autonomie accrue, en utilisant Musescore pour écrire des rythmes, créer des mélodies et écouter le résultat. Elle affirme que les élèves ont augmenté en motivation car « ils étaient pas très à l'aise avec leurs instruments, donc ils pouvaient pas composer avec leurs instruments, mais là, ils pouvaient écrire des notes et écouter ce que ça donnait, et donc commencer à écrire des petites mélodies ».

Interrogée sur les logiciels utilisés, C1 mentionne Musescore, Audacity, Shotcut, Inkscape, et OBS Studio, soulignant leur utilité dans différentes facettes de

l'enseignement musical et de la création de contenu en ligne. Elle exprime une préférence pour des logiciels libres et des alternatives aux services des GAFAM (l'acronyme des géants du Web, Google (Alphabet), Apple, Facebook (Meta), Amazon et Microsoft), alignée sur des valeurs éthiques et démocratiques.

En revanche, MAB explique comment l'école utilise l'outil SoundTrap dans le cadre de ses cours, mettant en lumière son intégration dans le programme pédagogique. SoundTrap est utilisé principalement dans le cursus d'apprentissage mixte, appelé le cyber orchestra, qui comprend une partie pratique instrumentale et une partie collective. MAB décrit comment SoundTrap est employé pour enregistrer et créer de la musique, que ce soit dans des cours collectifs, des groupes de musiques actuelles, ou des ensembles jazz. Elle souligne également son utilité parce que « durant les périodes de confinement et de restrictions, la quasi-totalité de nos projets ont été menés dessus. En fin de compte, en direct avec les élèves on leur donnait rendez-vous à l'heure habituelle du cours sauf qu'ils étaient chez eux. Et on se mettait sur SoundTrap qui a une interface avec un chat et une visioconférence. Des fois il y avait la visioconférence à côté parce que c'était plus pratique et les élèves menaient leur travail dessus comme s'ils avaient « été en classe ». Mais ils étaient en ligne donc pour nous c'est vraiment quelque chose qui est intégré. Tous les outils qu'on utilise on a réfléchi à comment ça s'articule dans ce qu'on faisait, donc on utilise pas du numérique à cent pour cent en permanence »

MAB précise que l'école a établi un partenariat avec SoundTrap, bénéficiant d'une version éducation mise à disposition depuis 2017. Cette version offre des fonctionnalités adaptées aux besoins pédagogiques de l'école. De même, un partenariat avec EarMaster, un autre outil utilisé pour le développement de l'oreille, a été établi depuis 2018. Ces partenariats permettent à l'école d'accéder à des versions éducatives de qualité, offrant des avantages tarifaires et des fonctionnalités adaptées aux besoins éducatifs. MAB souligne que l'utilisation de ces outils numériques n'est pas une fin en soi, mais plutôt une réponse à des besoins spécifiques dans le programme pédagogique.

En ce qui concerne la gratuité des outils, MAB exprime son scepticisme, affirmant que le tout gratuit n'est pas viable à long terme. Elle défend le principe de rémunération des professionnels qui développent ces outils, soulignant que



les versions payantes offrent généralement une qualité, une mise à jour, et une ergonomie supérieures. MAB encourage à considérer les outils numériques comme des investissements valables dans l'éducation musicale plutôt que de rechercher exclusivement des solutions gratuites qui pourraient être moins efficaces ou adaptées à un environnement éducatif structuré. Elle insiste sur le fait que, bien que le numérique puisse apporter des avantages significatifs, il doit être utilisé de manière judicieuse et intégré dans le contexte éducatif spécifique.

Concernant son expérience personnelle avec les outils numériques, MB mentionne qu'elle a utilisé principalement des moyens simples tels que l'envoi de fichiers sonores et PDF via des plateformes comme Dropbox. Elle évoque l'utilisation de Padlet comme alternative, mais reconnaît qu'elle a peu d'expérience avec des outils plus avancés. MB partage sa connaissance de certaines applications, notamment Meludia et EarMaster, et exprime une appréciation pour leurs aspects ludiques, bien qu'elle ne les utilise pas directement dans son enseignement. Elle évoque également avoir développé des outils pédagogiques privilégiant des exercices techniques intégrés à une expérience musicale significative. Elle dit qu'elle « trouve qu'il y a des côtés, des côtés ludiques qui sont sympathiques. Je les suggère, mais je ne les utilise pas », elle affirme. MB souligne également son expérience de gestion de groupes disparates d'étudiants avec des niveaux différents, arguant qu'il est possible de les faire progresser chacun à leur rythme sans nécessairement avoir besoin d'outils numériques.

### **Avis sur les outils numériques d'apprentissage**

C1 exprime avoir été sollicitée pour donner des formations et promouvoir le logiciel EarMaster Pro, conçu à des fins pédagogiques. Cependant, elle a refusé cette proposition en raison de sa vision critique de cet outil. Selon elle, EarMaster Pro incarne une approche d'enseignement ancienne et compartimentée, où les exercices progressifs abordent des aspects spécifiques tels que l'oreille musicale et le rythme de manière isolée. Sa critique repose sur l'idée que cet enseignement centré sur le solfège ne permet pas véritablement d'apprendre la musique, mais plutôt de maîtriser des compétences techniques, produisant ainsi de bons « techniciens » plutôt que des musiciens. La conception du logiciel, selon C1,

se limite à des exercices mécaniques axés sur la reproduction d'éléments tels que rythmes, intervalles et notions théoriques. Elle souligne qu'EarMaster Pro, bien qu'utile pour l'entraînement auditif et théorique, ne conduit pas à une compréhension globale de la musique ni à la formation complète d'un musicien. C1 exprime également ses réserves sur l'approche étroite de l'enseignement musical en France, qui, selon elle, se limite à un certain type de musique, adopté de manière spécifique. C1 rejette l'idée que ces logiciels, y compris Meludia ou EarMaster Pro, offrent une perspective holistique de l'enseignement musical. Sa position critique découle de son expérience en tant qu'élève, enseignante et formatrice, soulignant la nécessité de repenser les méthodes d'enseignement musical pour inclure une vision plus large et moins compartimentée de la musique. C1 souligne que le ludisme apparent dans quelques logiciels peut camoufler une mauvaise pédagogie et préconise une approche sérieuse et réfléchie de l'enseignement musical. A son avis « on a on a scindé tellement les choses qu'on est obligé de les rendre ludiques pour qu'elles retrouvent un intérêt si vous voyez ce que je veux dire. Alors que si on les scinde pas, il n'y a pas besoin, l'intérêt il est évident, donc pour moi c'est un faux problème en fait. »

C1 exprime son souci que l'utilisation excessive d'éléments visuels dans les logiciels d'apprentissage musical puisse détourner l'attention de l'oreille et du chant intérieur, des aspects essentiels de la musicalité. Elle encourage le développement du chant intérieur comme clé pour l'apprentissage musical durable, permettant aux étudiants de jouer sans dépendre d'une partition visuelle.

MAB discute des avantages des outils numériques dans l'enseignement musical, en mettant en avant deux points principaux. Tout d'abord, elle souligne l'importance de créer un lien entre l'école de musique (ou le conservatoire) et la pratique à domicile des élèves. Elle explique que même avec des cours de qualité, il est difficile de contrôler ce que les élèves font chez eux. Les outils numériques offrent la possibilité de mettre en place un suivi avec des ressources telles que des vidéos, des consignes audio, des playbacks, des liens vers des documents, et des exercices en ligne. Cette approche vise à prolonger les effets de l'école de musique à la maison, encourageant ainsi un apprentissage mixte. Pour elle, il est important que « Aujourd'hui avec la vidéo on peut donner des consignes. On peut montrer les choses. L'élève peut faire beaucoup plus facilement, que s'il

essaye juste de se souvenir. Pour moi, l'intérêt primordial est là. C'est à dire moi en tant qu'enseignante, je vais créer un lien entre ma salle de classe et ce que l'élève va faire à la maison. »

Deuxièmement, et de façon similaire au point évoqué par C1, MAB aborde les possibilités de création offertes par les outils numériques dans l'enseignement musical. Elle souligne que les cours traditionnels sont souvent centrés sur l'interprétation, formant des interprètes plutôt que des créateurs. L'utilisation d'outils comme Soundtrap, un studio de production musicale virtuel en ligne, permet aux élèves de collaborer sur des projets musicaux de manière synchrone ou asynchrone. Cela offre aux élèves la possibilité de s'enregistrer, de développer un sens critique sur leur pratique, et même de créer de la musique. MAB insiste sur le fait que « ce qui est difficile au départ pour l'élève quand il travaille son instrument c'est que c'est difficile de créer de la musique véritablement. D'aller loin dans une création si on n'a pas une maîtrise de l'instrument qui est un peu avancé. Et l'outil numérique, il va permettre de manipuler la matière sonore et de créer sans avoir les contraintes techniques. »

L'aspect collaboratif de ces outils numériques est également souligné. Ils permettent aux élèves de travailler individuellement tout en participant à des projets de groupe, recréant ainsi l'expérience collective de jouer ensemble, même à distance. MAB considère que l'aspect collaboratif est une dimension passionnante et enrichissante pour les élèves.

MB souligne son manque de conviction envers les outils numériques développés pour l'apprentissage, estimant que les acquisitions musicales se font de manière plus efficace et rapide lorsqu'il y a une dimension musicale intégrée. En discutant de l'amélioration potentielle de ces outils existants, MB se montre ouverte à l'idée d'utiliser des extraits musicaux plutôt que des exercices isolés. Elle reste néanmoins réservée quant à l'utilisation de ces outils pour évaluer le travail individuel des étudiants, et exprime ses préoccupations face à l'éventuelle surveillance étroite des élèves par les enseignants à travers ces outils numériques, soulignant l'équilibre délicat entre le soutien à la progression des élèves et une surveillance qu'elle qualifie d'« inquisitionnelle ». Elle met en avant le besoin de courage et d'efforts personnels de la part des élèves, insistant sur le fait que, même avec des outils numériques modernes, le temps passé à s'entraîner

demeure crucial pour progresser dans la formation musicale.

### **L'intégration du numérique dans l'enseignement musical**

Selon C1, avant le COVID-19, l'utilisation du numérique dans l'enseignement musical en France était limitée et souvent associée à la Musique Assistée par Ordinateur (MAO). Il y avait une réticence généralisée parmi les enseignants envers l'intégration du numérique, avec une majorité considérant cela comme une perturbation et un changement radical de leur mode d'enseignement traditionnel. Suite à la pandémie de COVID-19, de nombreux enseignants ont été contraints de recourir à des cours en visioconférence, ce qui a renforcé la perception négative du numérique chez certains. Certains enseignants associent maintenant le numérique principalement à la visioconférence, négligeant d'autres aspects potentiellement bénéfiques. La formation initiale des enseignants en France ne semble pas mettre suffisamment l'accent sur l'intégration pédagogique du numérique, ce qui entraîne une certaine méfiance de la part des enseignants. Les formations qui abordent des outils concrets sont mieux acceptées, mais même dans ces cas, la résistance persiste chez de nombreux enseignants. C1 souligne l'importance de la pédagogie dans l'utilisation des outils numériques en classe. Elle exprime sa frustration quant au manque de temps dédié aux aspects pédagogiques lors des formations. Elle mentionne également que le découpage des formations en raison de contraintes budgétaires limite la profondeur de la discussion sur l'intégration pédagogique du numérique. Elle explique : « moi ce qui m'intéresse c'est ce qu'on peut faire pédagogiquement, et ça c'est ça c'est compliqué à faire passer dans une formation. Alors bien sûr, j'en parle, je cite des exemples, je parle de mon expérience, je parle d'expérience qu'on m'a rapporté, etc. Mais les temps de formation sont toujours trop courts pour vraiment insister sur ce genre de choses. Alors tous les contenus de formation qui sont des contenus pratiques sont conçus pour un usage pédagogique, mais les stagiaires pour qui c'est nouveau tout ça, n'ont pas forcément le recul pour s'en apercevoir. »

MAB évoque la présence omniprésente des outils numériques dans la vie quotidienne en 2022, soulignant l'importance d'être à jour et de reconnaître que

ces technologies sont déjà intégrées dans la société. Elle souligne que, bien que cela ne signifie pas céder systématiquement à la numérisation, il y a un enjeu à tirer parti des avantages pédagogiques et artistiques des outils numériques, tout en restant conscient des divers usages, notamment administratifs, propres aux structures éducatives. Elle envisage également des perspectives transversales et estime que nous sommes aux débuts de ce qui pourrait être imaginé en termes d'intégration des technologies numériques dans l'enseignement musical et au-delà.

MAB aborde l'intégration du numérique dans son école de musique. Consciente des contraintes budgétaires, elle a impliqué les enseignants dans une démarche collaborative, décidant de prendre le temps d'expérimenter et d'évaluer les outils numériques avant de les intégrer pleinement dans le programme pédagogique. L'école a consacré un trimestre à la réflexion, au travail en groupe, et à l'exploration d'outils numériques. Ensuite, un second trimestre a été consacré aux tests avec les élèves, suivis d'une évaluation approfondie des résultats au troisième trimestre. Cette approche progressive et collaborative a permis aux enseignants de se familiariser avec le numérique de manière organique et de mesurer son impact sur l'apprentissage des élèves.

Selon MAB, aucun enseignant n'a été réfractaire, bien que certains aient peut-être eu des réserves initiales. Elle souligne l'importance de l'accompagnement dans le processus d'intégration du numérique et du temps nécessaire pour que les enseignants s'adaptent et comprennent les avantages des outils numériques dans l'enseignement de la musique. Elle insiste sur la nécessité de donner aux enseignants l'opportunité d'expérimenter et de réfléchir, plutôt que de les contraindre à adopter de nouvelles méthodes du jour au lendemain. Elle explique que « ce qui est compliqué dans nos structures c'est de se dire « on va faire quelque chose de nouveau et différent ». Et je pense que ça en termes de management. Il faut que ce soit accompagné, c'est-à-dire que demander aux gens du jour au lendemain de changer, de prendre quelque chose de nouveau en main comme ça, ça ne marche pas. Il faut accompagner. Il faut qu'il ait une démarche, qu'il y ait un suivi. Mais c'est ça qui a permis de faire que les gens se rendent compte de l'intérêt de ces outils. »

En ce qui concerne le taux d'intégration du numérique dans les enseigne-

ments musicaux en France, MAB estime qu'il est difficile à évaluer. Elle a observé une prise de conscience accrue due à la crise sanitaire, mais souligne que l'intégration véritable est encore loin d'être généralisée. Certains enseignants ont adopté le numérique pendant la crise, mais d'autres ont eu des expériences négatives qui les ont rendus réfractaires. MAB explique que beaucoup d'enseignants restent indécis, nécessitant un accompagnement et une formation pour adopter pleinement le numérique dans leur pratique pédagogique. A son avis, « C'est pas pareil de réfléchir à des cours avec le numérique quand on est dans une situation d'urgence, quand on fait comme on peut, que quand on se place dans un cadre serein, et qu'on se dit « bon ben voilà j'aimerais travailler sur tel ou tel élément » et qu'en face je me dis « je mets un outil numérique pour expérimenter » c'est plus la même chose. »

Elle conclut en indiquant que malgré plusieurs années d'expérience, l'intégration du numérique dans l'enseignement de la musique est encore au début de son parcours en France. Elle souligne l'importance de la patience, de l'accompagnement continu, et de la nécessité de laisser le temps aux enseignants de s'adapter aux nouvelles technologies. MAB mentionne également le manque de statistiques officielles sur l'utilisation du numérique dans les écoles de musique en France et suggère que l'intégration du numérique nécessitera encore du temps avant de devenir une norme généralisée.

Par rapport à l'intégration du numérique dans une école de musique, MAB propose de réaliser un état des lieux au sein de l'équipe pédagogique pour identifier les personnes ayant déjà des compétences et des usages numériques. En équipe, il est crucial de se questionner sur les objectifs de l'intégration du numérique. MAB suggère trois dimensions à considérer : l'utilisation des outils numériques en apprentissage mixte pour la maison, l'intégration d'outils numériques dans les cours, et éventuellement le passage vers des enseignements entièrement en ligne.

Pour MAB, la démarche doit être guidée par la recherche d'une plus-value pour les élèves. Elle encourage à examiner les dispositifs pédagogiques existants et à définir des lignes directrices en équipe. Elle recommande de créer des espaces de partage adaptés aux besoins pédagogiques, tout en laissant une certaine flexibilité aux enseignants pour des initiatives spécifiques. MAB souligne que

l'utilisation du numérique doit être maîtrisée par l'équipe éducative et qu'il est inutile de forcer l'adoption d'outils numériques sans un objectif clair.

MAB explique que, dans son école, l'utilisation du numérique est envisagée comme un complément au présentiel plutôt que comme un remplacement. Elle souligne que la musique implique une rencontre humaine authentique, et la technologie ne peut pas remplacer cette dimension essentielle. Elle aborde également la peur des enseignants d'être constamment derrière un écran, soulignant l'importance de la présence physique dans l'enseignement musical. Bien que le rôle fondamental de l'enseignant reste inchangé, l'intégration des outils numériques transforme la pratique pédagogique. L'enseignant doit s'adapter dans sa préparation personnelle, acquérir de nouveaux outils et ajuster le contenu de ses cours. Cette transformation influence également la relation enseignant-élève, permettant des interactions plus horizontales et une communication facilitée. Elle opine que le numérique, il faut l'utiliser vraiment pour prolonger le présentiel. Pour que ce qu'on fait ensemble, ça puisse aller plus loin. Et puis pour des activités où c'est pertinent. Si on veut faire de la création, pour moi c'est vachement plus intéressant d'utiliser un ordinateur et un logiciel, et son instrument aussi potentiellement ; que de dire aux élèves débrouillez-vous avec votre guitare, avec votre piano et puis votre feuille, votre papier. »

### **Avis sur la pédagogie dans les enseignements auditifs**

Comme alternative à l'approche compartimentée de l'enseignement, C1 a adapté ses cours de FM en y intégrant des liens avec les instruments. Pour améliorer la cohérence entre la compréhension des élèves en FM et leur application sur l'instrument, elle a développé des cours de pratique collective tout instrument, où les distinctions entre solfège, le chant, l'instrument et la pratique collective étaient abolies. Cette approche expérimentale, bien que critiquée par certains collègues et limitée par les contraintes institutionnelles, a été bien accueillie par les élèves. Elle explique ainsi la motivation pour essayer cette nouvelle approche : « j'avais des élèves, que j'avais en solfège et que je retrouvais en violoncelle, je m'apercevais que sur des choses sur lesquelles ils étaient clairs dans le cours de FM, quand il s'agissait de les faire au violoncelle, et c'était beaucoup moins

clair. » C1 souligne l'importance de l'évaluation continue axée sur l'autonomie et le plaisir des élèves plutôt que sur des auditions formelles. Elle met en avant des résultats positifs, avec des élèves poursuivant des projets en dehors des cours, formant des groupes autonomes et sollicitant des retours constructifs. Cependant, C1 reconnaît que cette approche peut susciter des inquiétudes chez les enseignants, les parents et même certains élèves habitués à un cadre plus formel. Elle explique : « Pour moi, ça, c'était quelque chose de beaucoup plus constructif, mais ça fait peur. Ça fait peur aux enseignants, parce qu'on perd pied. Ça fait peur aux parents, parce qu'ils savent pas comment juger la qualité de notre enseignement. Et ça peut faire peur aux élèves, parce qu'il y en a qui sont tellement habitués au cadre scolaire où on leur demande tout, et aux notes, etc. Et quand on leur dit « ben voilà c'est à toi de faire tu fais ce que tu as envie, comme tu as envie » ils ne savent pas comment faire. Il ne s'agit pas de faire n'importe quoi, il y a un cadre quand même, mais l'élève a besoin d'être actif. » Elle compare cette expérience à d'autres écoles, dont celle de Villeurbanne, qui adoptent des approches similaires depuis des années malgré la résistance initiale de certains membres du personnel. C1 considère le numérique comme un outil intégré à cette philosophie pédagogique alternative, permettant de personnaliser l'apprentissage et de favoriser l'autonomie des élèves.

Dans d'autres aspects, C1 explique des manières complémentaires du numérique dans la pédagogie. Par exemple, elle utilise l'enregistrement numérique comme outil pour fournir un retour et une trace des performances des élèves. Elle enregistre ainsi des séquences sur son téléphone, qu'il s'agisse de ses propres démonstrations pour les élèves ou des performances des élèves eux-mêmes. Cela permet aux élèves d'analyser leur propre pratique, soulignant l'importance de l'autonomie dans l'apprentissage musical. Comme mentionné précédemment, C1 utilise le logiciel Musescape, comme un outil pédagogique pour permettre aux élèves de travailler sur des partitions de manière interactive, favorisant ainsi une compréhension plus approfondie des concepts musicaux. En termes de culture musicale, C1 souligne l'utilisation d'Internet pour accéder à différentes versions de morceaux à étudier. Cela permet aux élèves de comparer les interprétations, de recueillir des retours d'élèves et de susciter des discussions sur des aspects artistiques. Elle met également en avant l'importance d'écouter les commentaires



des élèves, même s'ils ne semblent pas directement liés à la musique, soulignant ainsi le rôle de l'observation et de l'écoute dans l'enseignement musical.

Par rapport aux approches pédagogiques, C1 partage également son expérience en tant que violoncelliste, mettant en avant le lien étroit entre l'écoute, le jeu et la justesse. Elle évoque l'idée que l'apprentissage musical ne devrait pas se limiter à un travail auditif abstrait, mais plutôt intégrer d'autres sens, notamment la sensation corporelle. C1 explique que l'instrument lui-même peut répondre à la justesse par le biais de vibrations ressenties physiquement. Elle souligne que l'apprentissage musical ne doit pas se concentrer uniquement sur l'oreille, mais doit également intégrer d'autres sens, comme la vue et le toucher. Elle raconte son expérience où les élèves, en posant leurs mains sur l'instrument, ressentent émotionnellement la musique, créant une connexion plus profonde. C1 suggère que tant que l'apprentissage auditif reste abstrait, il sera difficile de le réinjecter dans la musique de manière expressive. Elle dit que « c'est quelque chose qu'il faut intégrer dès le début, parce que c'est pour ça qu'on se retrouve avec beaucoup de gens qui savent jouer d'un instrument, mais qu'on les écoute, on s'ennuie, ils jouent et ils s'ennuient, et on trouve des gens qui savent pas très bien jouer, mais qu'ont quelque chose à dire et qui transmettent des choses, mais qui sont frustrés parce qu'ils savent pas très bien jouer. »

L'entretien avec MB a mis en lumière le lien étroit entre la formation musicale et l'enseignement instrumental, notamment à Évry, où l'enseignante a participé à la création de liens entre ces deux domaines. Cette approche pédagogique implique l'utilisation des instruments dès le début de la formation musicale, bien avant que les élèves ne maîtrisent leur instrument. Ce dispositif, devenu une marque distinctive du conservatoire d'Évry, a suscité l'intérêt au point que MB est devenue formatrice pédagogique pour partager cette approche avec d'autres établissements. Ce dispositif d'inclusion d'instruments et de pratique collective instrumentale en formation musicale est appliqué à des élèves de différents âges, dès la classe de CP (exceptionnellement fin de maternelle). MB souligne que ces initiatives n'étaient pas seulement son initiative personnelle, mais le résultat d'une collaboration au sein de l'équipe des professeurs de formation musicale. L'utilisation des instruments en cours de FM a été intégrée dans un processus continu où les élèves apportent leur instrument à tous les cours de formation

musicale de l'établissement.

MB parle de la réforme de 1978 de la FM en France. Elle explique que cette réforme a eu pour objectif principal d'introduire du vrai répertoire et de la vraie musique dans l'enseignement du solfège. Elle souligne que cela a nécessité une évolution importante de la part des enseignants, passant d'une approche technique à une exploration approfondie du répertoire. Elle explique : « l'objectif principal de cette réforme : le fait d'introduire du vrai répertoire et de la vraie musique dans l'enseignement du solfège. Il y a eu beaucoup d'autres conséquences de cet objectif, mais l'objectif principal était de faire « entrer » de la vraie musique dans les cours de solfège et non pas des exercices techniques écrits par les profs de solfège pour les élèves. » « La formation musicale telle qu'elle a été pensée par les fondateurs (Odette Gartenlaub et Marc Bleuse), est une compréhension et une utilisation du répertoire bien plus large que seulement deux mesures ou trois mesures, pour la croche pointée double ou pour l'intervalle de quarte ».

### **I dées pour la création d'un outil pédagogique**

C1 propose d'associer les intervalles à des sensations et émotions, encourageant une approche plus globale de la perception musicale. Elle envisage la possibilité d'associer des couleurs aux émotions, ce qui pourrait offrir une expérience sensorielle plus riche. Elle considère qu'il serait important donner la place aux aspects visuels de l'interprétation, soulignant que les gestes des différentes parties du corps ont une influence en la production musicale. Elle exemplifie : « Là je pensais par exemple les intervalles, les émotions même une phrase mélodique a des émotions. Mais je pense que c'est important aussi d'intégrer la gestuelle, même dans la reconnaissance, même dans le travail de l'oreille. C'est quelque chose qui est important, parce qu'on associe de toute façon, on sait combien c'est difficile de chanter quelque chose qui monte en ayant la main qui descend. »

C1 envisage un logiciel d'apprentissage de la musique centré sur le développement du chant intérieur, mettant l'accent sur l'oreille et l'écoute intérieure plutôt que sur la dépendance visuelle. Elle exprime des préoccupations concer-

nant l'utilisation excessive de partitions visuelles dans l'apprentissage musical traditionnel, soulignant la nécessité de développer la capacité des apprenants à jouer sans dépendre uniquement de la vue. Elle propose une approche où le logiciel permettrait à l'apprenant de jouer par-dessus un enregistrement, sans recours à des indications visuelles directes. Au lieu de cela, elle suggère un retour auditif, où les passages incorrects sont réécoutés sans indication visuelle, permettant à l'apprenant de juger par eux-mêmes de la justesse. Si une erreur est identifiée, le logiciel créerait la note correcte, favorisant ainsi un apprentissage basé sur l'oreille et le chant intérieur. « C'est ça le gros problème aussi de l'enseignement avec une partition, c'est que ça passe par les yeux, et ce sont mes yeux qui commandent les doigts. Et moi, c'est comme ça que j'ai appris, et donc si je coupe la vue, je sais plus jouer. Et ça, ça devrait être plus mon oreille, ça devrait être mon chant intérieur ». C1 souligne que le numérique doit être considéré comme un outil au service de la pédagogie et non comme une fin en soi. Elle met en garde contre la tentation de laisser le numérique envahir la pédagogie, soulignant que la clarté sur la pédagogie est plus cruciale que la maîtrise des outils numériques.

#### 2.4.4 Point de vue des développeurs

Afin de comprendre la perspective, les enjeux et la situation auxquels font face les développeurs d'outils numériques, j'ai interviewé trois personnes impliquées dans le développement d'applications d'apprentissage auditif, ainsi qu'une personne ayant participé à la création d'un outil similaire dans le cadre d'un projet de recherche mené par une université. Les outils numériques concernés sont EarMaster Pro, Meludia, Complete Ear Trainer, et le projet BbMAT du Laboratoire d'Étude de l'Apprentissage et du Développement (LEAD) de l'université de Bourgogne.

L'intégralité d'entretiens est disponible dans le lien suivant : [https://drive.google.com/drive/folders/1m2vkH\\_QR5bjYsbf7j7dSwiCwqLwpcSnh?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1m2vkH_QR5bjYsbf7j7dSwiCwqLwpcSnh?usp=sharing)

### Parcours des développeurs

Bastien Sannac (BS), cofondateur de Meludia, a initialement étudié la musique en parallèle de l'informatique avant de devenir ingénieur informatique. Simultanément, tout en travaillant en tant qu'ingénieur télécom, il a repris des études musicales et, en collaboration avec Vincent Chaintrier, le créateur de la "Méthode Meludia", il a développé l'outil d'apprentissage Meludia.

Quentin Nicollet (QN), a entamé son parcours chez EarMaster au Danemark, à Aarhus, dès 2006, initialement en tant que représentant des clients francophones. Au fil des années, ses responsabilités se sont élargies, englobant divers aspects de la société. Actuellement, QN joue un rôle essentiel dans la promotion du logiciel EarMaster auprès des musiciens et des écoles de musique. Ses missions englobent le développement, la présentation du logiciel, les traductions, et diverses autres responsabilités au sein de cette petite entreprise, comptant une dizaine de membres, avec quatre travaillant à plein temps et d'autres à mi-temps ou en tant qu'externes. Avant de rejoindre EarMaster, Q était un musicien amateur, principalement guitariste, mais n'était pas directement lié au monde de l'éducation musicale. Toutefois, la politique d'embauche d'EarMaster privilégie des musiciens pour assurer une meilleure compréhension du produit et des interlocuteurs.

Stéphane Dupont (SD) a fait des études en informatique mathématique à Besançon, en France. Après ses études il a travaillé dans une grande société en ce domaine. Cependant, sa passion pour la musique l'a ensuite conduit à quitter son emploi pour suivre des études musicales au Conservatoire Supérieur de Musique de Liège, où il a obtenu un master en guitare classique. Après avoir terminé ses études de conservatoire, SD a combiné ses compétences en informatique et en musique pour créer des applications d'apprentissage musical, dont « Complete Ear Trainer », qui a été lancée en 2014.

Nicolas Marty (NM) est titulaire d'un master et d'un doctorat en musicologie, ainsi que d'une licence en psychologie. Ses recherches se sont concentrées sur les différences entre la perception et l'écoute musicale, explorant l'idée que l'écoute permet de construire l'œuvre écoutée de diverses manières. Pendant sa thèse, Nicolas Marty a enseigné l'informatique et l'informatique musicale aux

universités de Bordeaux. Après l'achèvement de sa thèse et avant de s'investir pleinement dans la cause animaliste, il a occupé le poste d'ingénieur de recherche au LEAD (Université de Bourgogne, 2018), où il a contribué à la création de la plate-forme BbMAT. Par la suite, il est devenu membre du comité de rédaction de la revue Musimédiane, puis a intégré son conseil scientifique. Actuellement, NM occupe le poste de chargé de campagnes à temps plein chez One Voice depuis février 2022. Ses activités se concentrent sur la question de l'expérimentation animale.

### Contexte de l'outil d'apprentissage

Meludia est un projet débuté en 2012 par Vincent Chaintrier et BS. Chaintrier, en tant qu'enseignant, il se concentrait sur le développement de l'oreille musicale chez les étudiants, soulignant l'importance de comprendre les intervalles pour créer une représentation interne des éléments musicaux. BS, ingénieur et ancien élève de Chaintrier, a décidé de transcrire la méthode de Chaintrier en un outil informatique. Meludia, lancé en 2012, vise à aider les musiciens à développer leur oreille musicale de manière autonome.

Selon QN la partie pédagogique d'EarMaster a commencé de manière plutôt « rudimentaire ». Au départ, en 1996, le logiciel était simplement un entraîneur sans leçons élaborées, se limitant à des exercices de choix multiples. Hans, le fondateur d'EarMaster, était un ingénieur de formation et aspirait à devenir musicien professionnel. Ayant une mauvaise oreille, il a créé un programme d'entraînement pour améliorer son oreille en vue de passer le concours d'entrée au conservatoire de Copenhague. Selon QN « Il a raté le concours d'entrée, mais par contre, ça lui a donné des idées. Donc il a développé après le logiciel. » La phase suivante a été l'intégration de leçons, marquant une approche pédagogique plus réfléchie. Étant lui-même non-professeur de musique, Hans a fait appel à des professeurs des conservatoires de Copenhague et d'Aarhus en formation musicale. Il a engagé un professeur pour la partie généraliste et un autre pour la partie jazz. Au fil des versions, le contenu pédagogique du logiciel s'est enrichi grâce à des collaborations avec d'autres professeurs. Par exemple, des professeurs d'*ear training* d'Aarhus, une professeure de l'état du Maine aux

États-Unis pour le jazz, et le directeur pédagogique actuel du logiciel Sibelius qui a contribué au cours pour débutants d'EarMaster. L'évolution du contenu des leçons s'est réalisée grâce à la collaboration continue avec des professeurs spécialisés travaillant à plein temps. Ces professionnels ont contribué à développer et à enrichir les leçons du logiciel, apportant ainsi leur expertise et leur expérience pédagogique. QN affirme que « Toutes les leçons en fait, le contenu s'est développé, par des professeurs qui font ça à plein temps, simplement qui nous ont aidé, et donc on les engage pour des missions en fait. »

L'idée de l'application « Complete Ear Trainer » est née de la combinaison de ses compétences en informatique et en musique. SD a constaté un manque d'applications de qualité pour l'apprentissage musical, en particulier pour l'oreille musicale. En 2012, il a donc entrepris le développement de « Complete Ear Trainer » pour combler cette lacune. L'application a été conçue pour répondre aux besoins des musiciens qui souhaitent perfectionner leur oreille musicale. La société de SD propose également deux autres applications sur le rythme et la lecture de notes. Le développement a débuté en 2012, et la première version a été lancée en 2014. Depuis lors, l'application a été continuellement améliorée. SD a principalement travaillé seul sur le projet, s'occupant de la conception, de la création de contenu et de l'enregistrement des banques de son. Cependant, il a collaboré avec deux amis, un graphiste pour les aspects visuels et un autre pour le portage de l'application sur iOS. À l'époque du lancement de la première version, il souligne que « c'est que ce qui existait était vraiment horrible. Maintenant, il y a quelques trucs, bon, je pense toujours que la nôtre est la meilleure, mais il en existe d'autres qui ont une approche un peu différente. Même si je pense que, encore une fois, pour les musiciens un peu sérieux, la nôtre est la meilleure. Mais vraiment, en 2012, c'était terrifiant. » Depuis la première version, l'application a connu plusieurs améliorations, mais le créateur continue d'être fortement impliqué dans le projet. Il enseigne également la guitare classique en conservatoire, mais souligne que les applications pour l'apprentissage musical sont devenues son principal moyen de subsistance.

Le test de perception musicale « BbMAT » <http://leadserv.u-bourgogne.fr/~cimus/> (Burgundy best Musical Aptitude Test) a été créé au sein du laboratoire LEAD de l'université de Bourgogne. Il comprend trois catégories

principales : le son, la syntaxe et le sens musical. Chaque catégorie se compose de quatre séries de tests différentes, avec trois sous-tests pour les catégories du son et de la syntaxe, et deux sous-tests pour la catégorie du sens musical. NM a été proposé un contrat de six mois pour travailler sur un projet impliquant le développement d'un site web pour des tests musicaux. Bien que n'étant pas un expert en programmation web, il a accepté le défi, mettant en avant ses compétences en musique et en musicologie. Cependant, il avait de bonnes bases en HTML et CSS, acquises au cours de trois années de travail pour la revue Musimédiane, où il mettait en ligne des articles. Il possédait également des bases en Javascript, lui permettant d'aller chercher des codes sur Internet, de les copier, de les modifier et de les adapter à ses besoins. De plus, il manipulait WordPress depuis un an ou deux pour son site personnel et d'autres propositions de sites. NM a travaillé à distance depuis Bordeaux, se rendant à Dijon une fois par mois pour collaborer avec les enseignants-chercheurs Philippe Lalitte et Emmanuel Bigand. Une partie importante de son travail consistait à développer des stimuli musicaux. Il a également créé une interface attrayante pour le site. Le temps consacré au développement de cette interface graphique a été particulièrement significatif.

### **Intégration de l'outil d'apprentissage**

BS mentionne que l'oreille musicale est souvent négligée dans l'éducation musicale, et il propose que l'apprentissage de la musique devrait ressembler à l'apprentissage de la langue, en mettant l'accent sur l'écoute et le développement progressif de l'oreille. A son avis « on va prendre très peu de temps pour travailler l'oreille. On va considérer que c'est au fur et à mesure des années que l'oreille va se former. La problématique, nous on dit toujours c'est comme ça qu'on pitch Méludia, on devrait apprendre la musique un peu comme on a appris à parler. C'est ce qu'ont fait d'ailleurs. On apprend, on écoute la musique avant d'apprendre la musique. Et c'est en écoutant qu'on apprend. C'est en écoutant différents courants musicaux. »

En 2022, Meludia était utilisé par environ 3 000 personnes en France, dont certains dans des conservatoires depuis six ou sept ans. Cependant, BS souligne

des défis liés à la perception de Meludia comme un outil complémentaire, ce qui nécessite une éducation pour surmonter les croyances limitantes liées à l'apprentissage de l'oreille musicale. Selon lui, « il y a plein des croyances limitantes qui viennent contrecarrer cette idée-là. La première croyance limitante c'est par exemple : l'oreille tu l'as où tu l'as pas. Mais il n'y a pas d'entre deux. » Il souligne également que le travail en autonomie en matière d'oreille musicale est crucial, et Meludia offre une solution pour permettre aux individus de travailler leur oreille de manière indépendante.

Concernant l'utilisation de Meludia à l'étranger, BS mentionne des partenaires en dehors de la France, notamment dans le monde anglophone. Il évoque des différences culturelles et des « guerres de chapelles » entre les différentes écoles musicales, mais note que l'intérêt pour Meludia existe au-delà des frontières françaises.

BS identifie plusieurs facteurs qui freinent l'adoption des outils numériques, notamment les équipements, la compétence des enseignants et les résistances culturelles. Le premier obstacle concerne les équipements. Beaucoup de conservatoires en France ne disposent pas de wifi, ce qui limite l'accès aux ressources numériques. Cette absence d'infrastructure numérique pose un défi majeur à l'intégration des outils technologiques dans l'enseignement musical. Ensuite, BS souligne le rôle crucial des enseignants dans ce processus. Il observe une diversité parmi les professeurs, allant de ceux qui maîtrisent parfaitement les outils numériques à ceux qui les évitent. Les enseignants plus jeunes ont souvent une meilleure compréhension des technologies, tandis que d'autres se limitent à des compétences de base telles que l'utilisation des e-mails et les recherches sur Google. Une troisième catégorie d'enseignants refuse catégoriquement d'adopter les outils numériques, illustrant le fossé générationnel et les attitudes diverses envers la technologie dans l'enseignement musical. Il souligne également le défi de remettre en question les enseignements antérieurs et de s'ouvrir à de nouvelles approches pédagogiques. Certains enseignants ont du mal à abandonner ce qu'ils ont appris au conservatoire, considérant cela comme la réalité immuable. Cela complique la mise en œuvre de nouvelles méthodes pédagogiques, notamment celles proposées par Vincent, qui a travaillé avec plus de 3000 élèves pour développer des approches efficaces. Selon lui Vincent « a essayé de choisir et de



trouver un chemin qui fonctionne pour le cerveau. Mais bon, c'est un chemin particulier. »

QN partage des informations sur l'utilisation d'EarMaster en France et aborde des différences notables avec d'autres régions, notamment le Québec. Actuellement, EarMaster est en développement sur le marché français, avec des utilisateurs tels que des conservatoires régionaux comme ceux de Perpignan et Rennes, des universités telles que l'Université Gustave Eiffel à Paris, et des conservatoires municipaux, écoles de musique, professeurs privés.

Selon QN l'utilisation d'EarMaster en France est diverse et ne se limite pas à un genre musical spécifique. Elle englobe des profils variés, de la musique classique au jazz. Les achats ne sont souvent pas effectués par des établissements entiers, mais plutôt par des professeurs individuels ou des équipes pédagogiques spécifiques qui souhaitent adapter leur pédagogie. Il explique que « Souvent c'est un prof qui a envie de prendre ça pour adapter sa pédagogie et qui donc éventuellement peut-être, après pourra convaincre d'autres profs d'adapter l'outil. Mais avant tout c'est un projet d'un prof ou d'une partie de l'équipe pédagogique. C'est rarement une école entière qui achète ça. »

En comparaison avec le Québec, QN note des différences marquées. Au Québec, des provinces entières ont adopté EarMaster pour tous les conservatoires de la province, indiquant une approche plus généralisée et rapide de l'adoption du logiciel. QN suggère que les professeurs québécois semblent adopter plus rapidement les nouvelles technologies par rapport à leurs homologues français. Il propose plusieurs raisons pour ces disparités. Premièrement, les enseignants peuvent être attachés à leurs méthodes d'enseignement traditionnelles et trouvent parfois difficile de remettre en question leurs approches. De plus, des considérations pratiques, comme le manque de temps dans leur emploi du temps chargé et la peur que l'utilisation d'outils technologiques ne soit pas prise en compte dans leur plan de travail, peuvent contribuer à la résistance à l'adoption de nouvelles technologies.

QN mentionne la crainte dans certains pays, y compris la France, que l'utilisation d'un outil provenant d'une société privée puisse remplacer leur activité traditionnelle. Il souligne que EarMaster devrait plutôt être considéré comme un manuel ou un cahier d'exercices utilisé en classe, et non comme une menace à la

profession enseignante. Cette réticence peut également être liée à une certaine appréhension face à l'inconnu et à la perception que des outils provenant de sociétés privées ne devraient pas être utilisés dans l'enseignement, bien que cela contraste avec l'utilisation courante d'autres technologies privées, telles que Zoom, et la publication de livres d'enseignement par des sociétés privées.

QN explique également que lorsqu'il est possible de démontrer les fonctionnalités du logiciel, les retours sont généralement positifs, et l'intérêt pour la mise en place de cet outil émerge. Cependant, les écoles peuvent manquer de ressources financières nécessaires à l'acquisition du logiciel. Pour surmonter cette barrière budgétaire, QN souligne la nécessité de rendre le logiciel aussi abordable que possible. Une solution consiste à proposer des leçons gratuites pour les écoles, tandis que les élèves peuvent s'abonner à titre privé, similaire à l'achat d'autres fournitures d'étude telles que des livres ou des cordes de violon.

QN affirme aussi que le problème d'intégration est dû à ce que « dans les pays anglo-saxons la formation musicale c'est un cours séparé de la théorie musicale. Alors qu'en France c'est tout regroupé en théorie musicale, formation auditive, chant à vue, lecture. Tout ça c'est regroupé en une seule unité, en tout cas dans les écoles de musique, les conservatoires. ». En France, on recherche peut-être un outil plus généraliste qui couvre la théorie musicale, la lecture des notes et le travail de l'oreille, tandis que d'autres pays se concentrent spécifiquement sur le travail de l'oreille. Cette différence de perspective peut contribuer à la perception que l'outil est incomplet par rapport aux cours traditionnels de formation musicale.

QN explique que des formateurs, tels que Marie-Aline Bayon, proposent des sessions de formation aux enseignants, complétées par des tutoriels vidéo réalisés par lui-même. Ces ressources visent à guider les enseignants dans la compréhension des fonctionnalités éducatives du logiciel.

Le créateur de Complete Ear Trainer discute des retours qu'il a reçus de professeurs de formation musicale. Il indique que, bien qu'il n'ait pas l'impression qu'ils s'opposent à l'application, leurs besoins spécifiques en matière d'épreuve de solfège peuvent ne pas être pleinement satisfaits par l'application. Il reconnaît que son point de vue peut ne pas être le plus pertinent, car les enseignants de solfège ont souvent des méthodes spécifiques et des exigences variées, dépass-

sant le cadre des applications conçues pour des individus. En ce qui concerne l'utilisation mondiale, SD mentionne que l'application a des utilisateurs aux États-Unis, au Brésil, en Russie et en Inde. Il attribue en partie cette popularité à la traduction de l'application dans plusieurs langues, facilitée par un logiciel qu'il a développé pour aider à la traduction. L'application est disponible dans une dizaine de langues.

SD évoque le contexte belge concernant l'utilisation de son application. Il souligne que l'apprentissage du solfège commence généralement à un jeune âge, vers 7 ou 8 ans. Cependant, de nombreux enfants jusqu'à 12 ans n'ont pas accès aux smartphones ou aux ordinateurs à la maison, en raison des préoccupations des parents ou du manque d'équipements numériques. Il mentionne également des contraintes budgétaires dans les écoles, ce qui limite la possibilité d'intégrer des outils numériques dans les salles de classe. La question de l'utilisation d'outils numériques pour l'apprentissage musical se pose davantage pour les adultes, tandis que dans les orchestres, le numérique progresse, notamment avec l'utilisation d'iPads pour faire défiler les partitions. SD conclut en notant que bien que le numérique progresse dans divers domaines musicaux, son intégration dans l'enseignement peut être moins avancée que dans d'autres aspects de la pratique musicale.

### **L'approche pédagogique**

Par rapport à l'approche pédagogique de Meludia, notamment en ce qui concerne son intégration avec les répertoires musicaux, BS explique que, pour le moment, Meludia reste axé sur des notions générales plutôt que sur un style musical spécifique. Il souligne la difficulté de cette approche, qui se « focalise sur les formes de base fondamentale cognitives universel du cerveau. C'est que Vincent appelle des archétypes »

BS reconnaît que les enseignants, qu'ils soient spécialisés en musique classique, jazz, ou autres, peuvent avoir des biais culturels qui sont présents dans leur méthode d'enseignement. Il note que l'intégration de la vision des archétypes de Meludia dans l'enseignement existant peut être complexe et nécessiterait des efforts pour établir des ponts entre les deux approches. BS souligne que le rôle

des enseignants est crucial dans cette démarche, et certains réussissent à bien intégrer ces nouvelles perspectives tandis que d'autres peuvent rencontrer des difficultés.

Un autre point abordé par BS concerne le besoin de divertissement du cerveau et la nécessité de moments de relaxation. A son avis il est nécessaire de travailler sur des archétypes musicaux et après jouer ou écouter un peu de musique. Il indique que « travailler uniquement sur le niveau des archétypes peut être difficile pour le cerveau, et il est important d'avoir des périodes de détente. Le cerveau a besoin d'amusement. Il a besoin de se reposer à un moment donné. Et du coup ce que ça signifie c'est que si on n'a pas un mode de travail et ensuite un mode de détente, où par exemple on va écouter un morceau de musique, où on va jouer avec des choses pour redescendre un peu. Et bien, les gens vont arrêter parce que c'est difficile »

BS souligne que les utilisateurs de Meludia doivent être autonomes et capables de créer des rituels d'apprentissage, mais il reconnaît que cela peut être un défi pour de nombreuses personnes. Il propose l'idée que faire dix minutes de Meludia avant de jouer un instrument pourrait être bénéfique, soulignant l'importance de trouver un équilibre entre l'apprentissage et le repos du cerveau.

L'évolution d'Ear Master a été menée au fil des années par des enseignants de formation musicale, et les possibilités technologiques de l'époque. Une nouveauté d'Ear Master discutée est l'intégration de partitions dans le logiciel, permettant aux enseignants d'accéder à une bibliothèque remplie de partitions pour leurs cours. QN montre un exemple où l'élève peut effectuer des exercices de chant à vue en écoutant une chorale de Bach et en chantant une voix spécifique tout en étant accompagné par les autres voix. Le logiciel permet de noter les erreurs de l'élève, y compris les fausses notes.

QN détaille également l'évolution des sons générés par le logiciel. Contrairement à la version 2010 qui utilisait des sons synthétiques, la version actuelle utilise des échantillons enregistrés de haute qualité, tels que ceux d'un piano Steinway. Les sons sont réalistes, mais QN reconnaît que le changement de timbre lié à la dynamique peut différer d'un véritable instrument. Il explique qu'ils pourraient utiliser des bibliothèques de sons orchestraux, mais le défi réside dans le maintien de la rentabilité d'EarMaster, destiné principalement

aux enseignants et aux écoles de musique avec des budgets limités. Il affirme « c'est vrai que l'on aimerait bien que le son soit plus réaliste. Surtout quand on joue les partitions. Mais le problème qu'on a effectivement c'est que toutes ces bibliothèques comme ça, ça coûte des centaines d'euros. Earmaster c'est pas cher du tout. Parce qu'il faut. C'est destiné aux profs, aux écoles de musique qu'ont pas du tout d'argent. Donc on est obligés de trouver une solution. Un petit peu un compromis entre qualité et budget. » Actuellement, le logiciel propose une variété d'instruments issus de la banque MIDI, avec environ une centaine de sons, couvrant des instruments tels que le violon, le violoncelle, le saxophone, et le piano.

Earmaster semble évoluer vers l'utilisation du répertoire avec l'instrument et de différentes manières d'interagir avec la matière. QN aborde également la possibilité d'enregistrer le son d'un instrument via le micro, avec une attention particulière aux instruments monophoniques et transpositeurs. Cela ouvre la porte à l'utilisation d'EarMaster pour la pratique d'une pièce musicale, permettant aux utilisateurs de s'entraîner mesure par mesure, évalués par le logiciel. Une autre fonctionnalité évoquée est la possibilité de faire des dictées, bien que cette partie soit décrite comme moins évoluée. Les utilisateurs peuvent générer une mélodie et tenter de la retranscrire. De plus, QN souligne la flexibilité du logiciel en permettant aux utilisateurs d'importer leurs propres morceaux ou d'utiliser la bibliothèque de répertoires. Cependant, QN reconnaît certaines limites d'EarMaster, notamment l'incapacité à traiter des pièces orchestrales avec plusieurs voix harmoniques. Le logiciel se concentre davantage sur les notes mélodiques que sur les accords, et bien qu'il vise à se rapprocher de la véritable musique avec l'ajout de partitions de pièces réelles, il souligne que le développement dans ce domaine peut être complexe et prend du temps.

Par rapport aux futurs développements prévus pour EarMaster, QN mentionne plusieurs axes d'amélioration, notamment rendre le logiciel plus réaliste pour assurer une continuité fluide entre les cours de formation auditive et l'utilisation du logiciel. Il évoque également l'idée d'ajouter d'autres répertoires, y compris des pièces orchestrales, bien que cela puisse être complexe.

En ce qui concerne la recherche scientifique autour du logiciel, QN mentionne que EarMaster a été utilisé dans diverses études, notamment par Petter

Vuust, un musicien de jazz et chercheur en neurologie. Ces recherches se sont penchées sur la médecine cérébrale, et plusieurs thèses et programmes de recherche ont été menés avec EarMaster, en Allemagne et en France notamment. Cependant, QN souligne que, dans le développement d'EarMaster, l'équipe se base principalement sur les pratiques courantes des professeurs plutôt que sur des théories émergentes dans la recherche en éducation musicale. Ils cherchent à répondre aux besoins concrets des enseignants et des musiciens plutôt qu'à influencer ou changer les méthodes d'apprentissage établies.

L'application Complete Ear Trainer a trouvé son inspiration principalement dans la méthode d'entraînement d'oreille de David Lucas Burge, intitulée « Perfect Pitch Ear Training Supercourse » [111]. Bien que l'application soit basée sur cette méthode, le créateur a apporté des modifications et des améliorations en fonction de son expérience, de sa vision et du passage d'une méthode sur CD à une application mobile. Son objectif était de tirer parti de l'interactivité offerte par les applications tout en respectant les principes de la méthode initiale. Le créateur, SD, qui a une expérience diversifiée dans la musique classique, le jazz, le rock, le métal, etc., a cherché à concevoir une application qui puisse être utilisée aussi bien par des musiciens classiques que par des musiciens non classiques. Il a souligné l'importance de ne pas s'enfermer dans des vocabulaires spécifiques à un genre musical particulier.

Le développement de Complete Ear Trainer a également été influencé par la volonté d'introduire des éléments de gamification. Le concept de jeu a été adopté pour rendre l'apprentissage de l'oreille musicale plus engageant et positif. Des éléments tels que les objectifs clairs, les classements en ligne, et la possibilité de débloquent des contenus ont été intégrés pour stimuler la motivation des utilisateurs. Concernant la pédagogie, l'application a adopté un approfondissement progressif des concepts. Inspiré par la méthode de Burge, le créateur a souligné l'importance de ne pas passer trop rapidement d'un intervalle à l'autre, afin de permettre une assimilation complète avant de progresser. Bien que des retours d'utilisateurs, notamment des professeurs de musique, aient été pris en compte, le créateur n'a pas spécifiquement consulté des enseignants de formation musicale pour revisiter la pédagogie de l'application.

L'application Complete Ear Trainer, Complete Rhythm Trainer et Complete

Music Reading Trainer son toutes les trois développées par SD. Lors de la conception de la première application dédiée à l'oreille, la décision de ne pas regrouper tous les parcours dans une seule application a été motivée par des considérations d'expérience utilisateur (UX). Le créateur estime qu'avoir trois parcours différents dans une même application aurait entraîné une surcharge de contenu sur un téléphone, nuisant à l'ergonomie. En plus de l'aspect UX, la taille de l'application a également été prise en compte. La section dédiée au rythme, par exemple, nécessitant moins de ressources audio, permet de maintenir une application plus légère, facilitant le téléchargement.

L'entretien avec SD révèle que le succès de l'application est attribué en partie à sa facilité de découverte et à la qualité de son utilité. SD mentionne plusieurs projets à venir, par exemple une interface web est en cours de développement, visant à offrir une synchronisation cross-plateforme entre Android, iOS et web, permettant aux utilisateurs de retrouver leur contenu et leur licence sur n'importe quelle plateforme. Les nouvelles fonctionnalités envisagées comprennent une amélioration de la gestion pour les écoles, offrant une personnalisation accrue, avec la possibilité d'activer des fonctionnalités spécifiques pour les élèves.

SD explique qu'il n'a pas incorporé de pièces du répertoire dans son application, malgré la suggestion que cela pourrait aider à contextualiser les exercices. Il souligne que l'utilisation de morceaux spécifiques pourrait introduire des biais socioculturels et préfère se concentrer sur des exercices indépendants pour enseigner les bases, tels que la reconnaissance d'intervalles. Il estime que retenir les intervalles dans un contexte particulier peut conduire à une association limitée, car les intervalles peuvent sonner différemment dans différents contextes musicaux. Il exprime qu'il « trouve que, en mettant les intervalles en contexte, on va les associer à des contextes, alors qu'ils vont sonner fort différemment dans d'autres contextes. Donc je préfère, aller vraiment sur reconnaître l'intervalle en tant que tel, indépendamment de tout contexte, je crois que c'est plus efficace. »

SD exprime la même philosophie en ce qui concerne la reconnaissance d'accords, affirmant qu'il est important de les reconnaître indépendamment du contexte. Il précise cependant qu'un futur projet envisage d'ajouter un mode spécifique pour la reconnaissance d'enchaînements d'accords, basé sur des styles de musique réels plutôt que sur des morceaux connus pour des questions de

droits d'auteur. Cette fonctionnalité serait développée de manière séparée dans le cadre d'une future mise à jour de l'application, offrant une approche plus contextualisée de la reconnaissance musicale. Il affirme : « reconnaître les choses dans leur contexte, mais ce sera un mode séparé, en fait. Pour l'instant, l'application, c'est vraiment reconnaître la grammaire de la musique, avoir un côté plus contextualisé, ce sera dans un mode futur ».

Le projet B-MAT est issu d'un projet de recherche mené au laboratoire LEAD par Emmanuel Bigand et Philippe Lalitte. Ce projet a été constitué pour étudier le développement d'apprentissages auditifs chez les enfants implantés cochléaires. Lors de son arrivée dans le projet, NM a constaté que la majeure partie des concepts étaient déjà établis par un individu qui avait travaillé sur le projet pendant environ un an. Cela inclut les schémas des niveaux, les idées sur les stimuli et les types d'exercices à proposer. Cependant, ces éléments ont été modifiés plusieurs fois, avec NM contribuant à la réorganisation et à l'ajout d'éléments. Certaines parties, notamment la partie verte liée aux aspects cognitifs, n'étaient pas encore développées. Ces éléments ont été développés en collaboration avec les chercheurs pendant le stage de NM, et plusieurs ajouts ont été faits pour compléter le projet initial.

NM mentionne qu'à l'époque, il avait utilisé deux applications d'*ear training*, mais qu'il ne s'est pas inspiré d'autres applications dans ce domaine, d'autant plus qu'ils ont exploré le paysage des applications existantes et ont constaté qu'il y en avait peu. De plus, la plupart de ces applications étaient centrées sur la musique tonale et la formation à l'oreille tonale, tandis que le projet de NM visait des aspects spécifiques tels que la reconnaissance de timbre, la reconnaissance de timbre hors instrument de l'orchestre, les qualités émotionnelles et texturales, qui n'étaient pas bien représentées dans les applications existantes. NM explique que la proposition de présentation des exercices a été élaborée en collaboration avec Emmanuel et Philippe. La séparation en trois compétences (sens, son et syntaxe) a été discutée et validée au cours de leurs sessions de travail, marquées par des idées spontanées et des discussions prolongées. La catégorisation des exercices entre ces niveaux a également nécessité un tri, avec des catégories redéfinies au fur et à mesure. Cette démarche complexe a joué un rôle crucial dans la façon dont les utilisateurs allaient aborder le projet.



### 2.4.5 Point de vue des étudiants d'université

L'enquête auprès d'étudiants de l'UFR de musicologie présentée dans le chapitre précédent a également été utilisée pour explorer les besoins actuels, l'utilisation et les attentes vis-à-vis d'un outil numérique d'apprentissage auditif.

L'utilisation de questionnaires standardisés pour l'expérience utilisateur a été envisagée, mais la décision a été prise de créer un nouveau questionnaire. L'objectif de l'étude étant d'explorer l'utilisation de ce type spécifique d'applications ainsi que les attitudes à l'égard de la formation musicale de l'oreille, la meilleure option était de créer un ensemble de questions couvrant le périmètre de la recherche. Le nouveau questionnaire a été créé en partie en s'inspirant de questionnaires d'expérience utilisateur existants [463, 101, 685], en suivant les idées trouvées dans la littérature sur la conception de questionnaires [480, 805], et les suggestions des professeurs de Sorbonne Université.

#### Présentation du questionnaire 2021 et 2023

Le questionnaire était sous-divisé en deux parties, la première était consacrée aux questions générales sur l'utilisation d'un outil numérique d'apprentissage et la deuxième aux questions sur un outil numérique spécifique.

Dans le questionnaire 2023 les questions et les réponses possibles ont été modifiés en accord aux réponses reçues en 2021 et aux réflexions liées aux résultats.

#### Résultats

L'intégralité des données se trouve dans le lien suivant : [https://drive.google.com/drive/folders/1m2vKH\\_QR5bjYsbf7j7dSwiCwqLwpcSnh?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1m2vKH_QR5bjYsbf7j7dSwiCwqLwpcSnh?usp=sharing)

L'enquête révèle une augmentation, entre 2021 et 2023, de la connaissance (de 50% à 73%) et de l'utilisation générale (de 43% à 52%) des applications de formation de l'oreille par les étudiants en musicologie.

En 2023, juste 3% des étudiants n'utilisaient les outils numériques pour des activités musicales. La plupart des étudiants utilisaient le numérique pour la notation musicale (28%), l'enregistrement et le mixage (24%), la création

TABLEAU 2.7 – Questionnaire 2021 sur l'utilisation générale d'un outil d'apprentissage

Question	Réponses possibles
Connaissez-vous des logiciels ou des applications pour l'apprentissage auditif ou musical ?	Oui, Non
Pour quel aspect de la formation musicale connaissez-vous l'existence de ce type d'applications ?	Développement de l'oreille musicale, Lecture de partition, Rythme, Instrument, Théorie musicale, Justesse d'intonation, Harmonie (écriture musicale), Autre
L'utilisation de ce type d'applications est-elle encouragée par vos professeurs ?	Oui, elle est encouragée ; Oui, elle fait partie du cours ; Non
Vos camarades de classe ou collègues musiciens discutent-ils avec vous des applications d'apprentissage auditif ou musical ?	Oui, Non
Parmi cette liste d'applications d'apprentissage auditif ou musical, lesquelles connaissez-vous ?	
Avez-vous utilisé des logiciels ou des applications pour l'apprentissage auditif ou musical ?	Oui, Non
Sur quel appareil électronique avez-vous principalement utilisé ce type d'applications ou de logiciels ?	Ordinateur, tablette tactile, smartphone
Combien de temps avez-vous utilisé une application ou un logiciel pour l'apprentissage musical ou auditif ?	Moins d'un an, 1 à 2 ans, 3 à 4 ans, 5 ans ou plus
À quelle fréquence avez-vous utilisé ce type d'applications ?	Quotidienne, Hebdomadaire, Quelques fois par semaine, De temps en temps
Avez-vous payé ou acheté un abonnement pour l'utilisation de ce type d'application ou de logiciel ?	Oui (abonnement mensuel), Oui (abonnement annuel), Non

TABLEAU 2.8 – Questionnaire 2021 sur l'outil d'apprentissage

Question	Réponses possibles
Veillez choisir le logiciel ou l'application que vous avez utilisé le plus. (Si vous ne le trouvez pas dans la liste, veuillez écrire son nom dans le prochain champ de texte) Les questions suivantes portent sur cet outil d'apprentissage.	Autre, Complete Ear Trainer, EarMaster Pro, Functional Ear trainer, Meludia, Perfect Ear, Tenuto, Teoría.com, Tonegym, Tonesavvy
Quel était (ou quels étaient), votre (ou vos) objectif(s) pour utiliser cet outil d'apprentissage ?	Améliorer mes résultats scolaires (université ou autre), Améliorer la maîtrise de mon instrument de musique, Améliorer mes connaissances musicales de manière indépendante, L'outil fait partie du cours, L'outil est utilisé par mon entourage, L'outil est plus engageant que d'autres formes d'apprentissage, Autre
Quel(s) aspect(s) musical (ou musicaux) souhaitez-vous améliorer avec cet outil d'apprentissage ?	Développement de l'oreille musicale, Lecture de partition, Rythme, Instrument, Théorie musicale, Justesse d'intonation, Harmonie (écriture musicale), Autre
L'outil a-t-il augmenté votre motivation à étudier cet (ou ces) aspect(s) de la formation musicale ?	Oui, Moyennement, Non
Pensez-vous avoir progressé grâce à cet outil ?	Oui, Moyennement, Non
Quel aspect de cette application vous plaît ou vous plaisait le plus ?	Design visuel, Performance dans l'appareil, Méthode d'apprentissage, Feedback sur la réponse, Qualité des sons, Autre
Quel aspect de cette application vous plaît ou vous plaisait le moins ?	Design visuel, Performance dans l'appareil, Méthode d'apprentissage, Feedback sur la réponse, Qualité des sons, Autre

TABLEAU 2.9 – Questionnaire 2023 sur l'utilisation générale d'un outil d'apprentissage

Question	Réponses possibles
Connaissez-vous des logiciels ou des applications pour l'apprentissage auditif ou musical ?	Auralia, Complete Ear Trainer, EarMaster Pro, Functional Ear Trainer, Méludia, MyEarTraining, Perfect Ear, Teoria.com, The Ear Gym, ToneGym, Yousician, Fender Play, iReal Pro, Autre
Pour quel aspect de la formation musicale connaissez-vous l'existence de ce type d'applications ?	Formation auditive (intervalles, accords, cadences, rythme, etc), Instrument, Justesse d'intonation, Lecture des notes, Théorie musicale, Autre
Ce type d'application est-il utilisé dans le cours ou, si ce n'est pas le cas, son utilisation est-elle encouragée par l'enseignant ?	Oui (elle fait partie du cours), Oui (son utilisation est encouragée), Non
Vos camarades de classe ou collègues musiciens utilisent-ils des applications ou discutent-ils sur l'efficacité des applications d'apprentissage auditif ou musical ?	Oui, Non
Utilisez-vous des outils numériques pour :	L'apprentissage/le développement de l'écoute musicale, L'analyse musicale, La création de musique assisté par ordinateur (avec des instruments virtuels, synthétiseurs, etc), L'enregistrement et le montage audio, La notation musicale, Je n'utilise pas d'outil numérique
Parmi les thématiques listées, laquelle aimeriez-vous travailler à l'aide d'un logiciel ?	Intervalles (mélodiques et harmoniques), Mélodie-polyphonie (reconnaissance et mémorisation de motifs, de phrases), Vocabulaire harmonique (accords, couleurs d'accords...), Syntaxe harmonique (cadences, fonctions tonales, parcours tonal...), Rythme (pulsation, tempo, métrique, formules rythmiques...), Timbres (timbres individuels, modes de jeu, alliages de timbres, types d'attaque, couleurs...)

TABLEAU 2.10 – Questionnaire 2023 sur l'outil d'apprentissage

Question	Réponses possibles
Connaissez-vous des logiciels ou des applications pour l'apprentissage auditif ou musical ?	Oui, Non
Pour quel aspect de la formation musicale connaissez-vous l'existence de ce type d'applications ?	Développement de l'oreille musicale, Lecture de partition, Rythme, Instrument, Théorie musicale, Justesse d'intonation, Harmonie (écriture musicale), Autre
L'utilisation de ce type d'applications est-elle encouragée par vos professeurs ?	Oui, elle est encouragée ; Oui, elle fait partie du cours ; Non
Vos camarades de classe ou collègues musiciens discutent-ils avec vous des applications d'apprentissage auditif ou musical ?	Oui, Non
Parmi cette liste d'applications d'apprentissage auditif ou musical, lesquelles connaissez-vous ?	
Avez-vous utilisé des logiciels ou des applications pour l'apprentissage auditif ou musical ?	Oui, Non
Sur quel appareil électronique avez-vous principalement utilisé ce type d'applications ou de logiciels ?	Ordinateur, tablette tactile, smartphone
Combien de temps avez-vous utilisé une application ou un logiciel pour l'apprentissage musical ou auditif ?	Moins d'un an, 1 à 2 ans, 3 à 4 ans, 5 ans ou plus
À quelle fréquence avez-vous utilisé ce type d'applications ?	Quotidienne, Hebdomadaire, Quelques fois par semaine, De temps en temps
Avez-vous payé ou acheté un abonnement pour l'utilisation de ce type d'application ou de logiciel ?	Oui (abonnement mensuel), Oui (abonnement annuel), Non

musicale assistée par ordinateur (22%) et l'apprentissage (18%) (notamment la formation auditive).

Dans les deux années, seulement 20% des étudiants n'ont pas rencontré de difficultés dans l'apprentissage de l'oreille. Pour le reste des étudiants, la perception, la mémoire et la concentration ont été les principales causes de difficultés d'apprentissage au cours des deux années.

En 2023, le nombre d'utilisateurs à long terme (plus de trois ans) a également augmenté.

Toutefois, la fréquence d'utilisation quotidienne des applications semble avoir diminué, passant de 16% à 8% des utilisateurs.

Au cours des deux années, les deux principales raisons d'utiliser les applications étaient l'amélioration des résultats scolaires (40%) et l'amélioration des compétences en autonomie (38%).

L'utilisation d'une application a augmenté, au moins moyennement, la motivation (80%) et le sentiment de progrès (90%) en formation auditive de la plupart des étudiants.

En 2021, la méthode d'apprentissage (63%) et le feedback immédiat (15%) étaient les caractéristiques préférées des applications. En 2023, nous avons élargi les options pour mieux comprendre ce que les étudiants appréciaient dans la méthode d'apprentissage. Les réponses montrent qu'ils apprécient de pouvoir travailler sur n'importe quel sujet (33%) à n'importe quel moment (14%), la conception de l'application comme un jeu vidéo (19%) et le feedback immédiat sur les réponses (17%).

En 2021, les principaux aspects négatifs de ces applications étaient la qualité du son (37%) et l'aspect visuel (32%). En 2023, le nombre de réponses possibles était élargi et les principaux aspects négatifs étaient la qualité du son (30%), l'absence d'un parcours clair d'apprentissage (38%) et l'aspect visuel (14%).

En 2021, 40% des étudiants ont déclaré que les enseignants n'encouragent pas l'utilisation des applications, et ce pourcentage a légèrement augmenté pour atteindre 52% en 2023. Les deux années, environ 55% des étudiants ont entendu leurs camarades discuter de ce type d'applications.

Les applications les plus connues et utilisées sont Perfect Ear [3], Complete Ear Trainer [734], MyEarTraining [572] et EarMaster [571]. Cependant, il est

TABLEAU 2.11 – Applications le plus utilisées

Nom	Plateforme	Réponse	Sons	Gamification
Complete Ear Trainer	Smartphone, web	Boutons	Échantillons : guitare, piano, cordes, autres	Scores, centre de jeu, statistiques
Perfect Ear	Smartphone	Boutons, touches, manche, voix	Échantillons : piano, guitare	Scores, retour d'information, statistiques
Ear Master Pro	Bureau	Microphone, boutons, touches, manche	Virtuel : grande variété, utilisation du répertoire	Scores, camarades de classe
MyEarTraining	Smartphone, web	Boutons, touches et voix	Échantillons : piano	Scores, retour d'information, statistiques

possible que la plupart des étudiants connaissent et aient essayé en moyenne au moins 5 applications de formation auditive.

Toutes les applications présentent des fonctions de gamification, trois d'entre elles permettent d'utiliser le microphone pour répondre et trois sont destinées aux smartphones. Une seule application déclare utiliser des instruments virtuels pour la génération des sons.

En comparaison aux étudiants de l'Université de Bourgogne, Lyon 2, Grenoble et Strasbourg, la connaissance et l'utilisation des applications, l'encouragement des enseignants à essayer les applications, la fréquence d'utilisation et l'utilisation à long terme d'une application sont également similaires à ceux de la Sorbonne. Les applications préférées des étudiants sont également similaires, mais l'application « Yousician » est très utilisée. Cette application est dédiée à l'apprentissage d'un instrument par le biais de chansons. Il n'y avait pas de différences substantielles concernant les faiblesses et les forces en matière de formation de l'oreille et de théorie musicale, et les étudiants ont également estimé que l'utilisation d'une application augmentait leur sentiment de progrès et leur motivation dans la plupart des cas. Ils ont identifié les mêmes points positifs et négatifs concernant les applications.

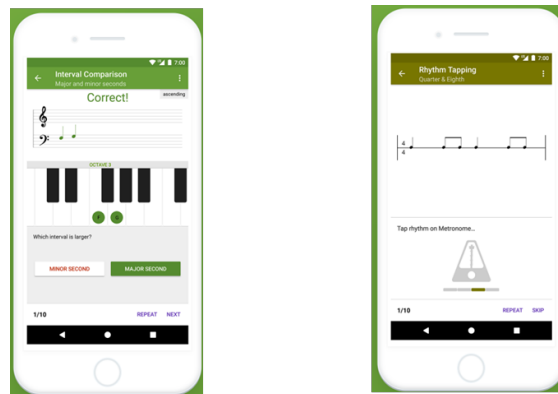


FIGURE 2.8 – Capture écran de Perfect Ear

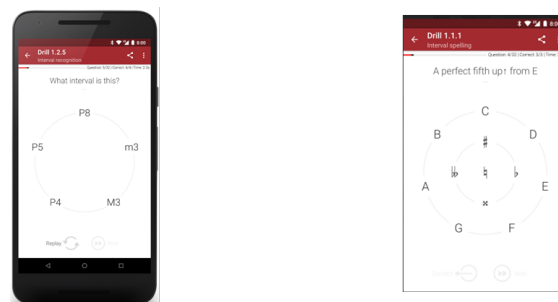


FIGURE 2.9 – Capture écran de Complete Ear Trainer

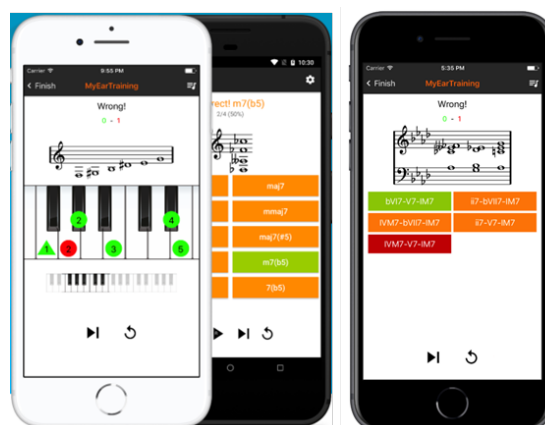


FIGURE 2.10 – Capture écran de MyEarTrainer



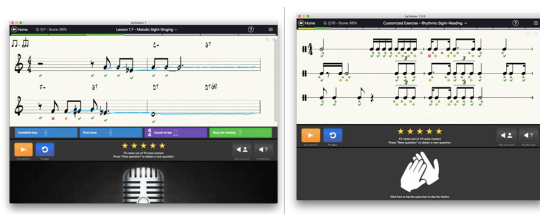


FIGURE 2.11 – Capture écran de Ear Master

### Analyse et discussion

Les applications préférées contiennent de puissantes fonctions de gamification, la possibilité d'utiliser le microphone pour répondre, et plusieurs façons d'interagir avec les éléments musicaux. Cependant, (à l'exception des possibilités offertes par EarMaster), la plupart ne proposent pas d'exercices contextualisés, et la qualité et la diversité des sons sont limitées. Le son le plus courant reste le piano et la façon la plus courante d'interagir avec les éléments musicaux est d'utiliser des boutons pour indiquer la réponse. En revanche, davantage d'applications ont commencé à incorporer l'utilisation du microphone comme moyen de répondre aux exercices. On remarque également une évolution au cours des deux années (dans quelques applications) sur les façons dont l'utilisateur peut utiliser l'écran tactile pour répondre à une question sur le son. En dehors de ces limitations, la motivation perçue par les élèves et leur sentiment de progresser grâce à l'utilisation de l'application ont généralement augmenté.

La caractéristique préférée des étudiants est le retour d'information immédiat et la commodité de pouvoir étudier n'importe où et n'importe quand, suivis de l'engagement créé par les fonctions de gamification. Au contraire, les étudiants ne sont pas satisfaits de la qualité du son, des parcours pédagogiques et de la conception visuelle des applications existantes. Il est clair que la population étudiée préfère les applications gratuites ou très peu coûteuses. Le prix est un aspect important dans l'adoption de ces applications.

La rétroaction sur les erreurs est importante car elle est l'une des pierres angulaires de l'apprentissage, avec l'attention, l'engagement actif et la consolidation selon Stanislas Dehaene [184]. Selon lui, l'erreur est la condition même de l'apprentissage, car lorsque les apprenants reçoivent rapidement des commen-

taires sur leurs performances, ils peuvent corriger leurs actions. En ce sens, les erreurs sont inévitables et en réalité essentielles. Selon les théories actuelles, le cortex est une machine à faire des prédictions avec les stimuli entrant à différents niveaux hiérarchiques. L'erreur provoque une divergence entre cette prédiction et la réalité, ce qui les amène à faire une nouvelle prédiction. Ces ajustements successifs favorisent l'apprentissage.

Les données suggèrent que l'utilisation des applications a été plus fréquente pendant le confinement et que les étudiants se sont davantage engagés dans la technologie éducative. Il semble qu'après la fin du confinement et des restrictions imposées par le Covid19, les étudiants ont commencé à s'engager dans d'autres activités (même le temps quotidien passé à jouer d'un instrument a légèrement diminué) et ont abandonné certains outils technologiques qui avaient été mis en place en raison de la crise sanitaire. Les enseignants sont conscients de l'existence d'applications de formation de l'oreille et au début du semestre ils distribuent un document dans lequel ils ont répertorié différentes ressources payantes et gratuites, ainsi que d'autres logiciels liés à la musique. Cependant, les entretiens (présentés dans la dernière section de ce chapitre) ont révélé qu'en général, les applications ne s'alignent pas totalement sur les approches pédagogiques des enseignants, et ces derniers sont donc réticents à les encourager davantage à les utiliser.

Les enseignants hésitent à encourager l'utilisation d'applications d'apprentissage auditif, même si la majorité des élèves déclarent les utiliser pour améliorer des difficultés de motivation, de perception et de concentration. La raison de ce manque d'encouragement peut être l'approche pédagogique de ces applications sur le sujet déjà controversé de l'entraînement de l'oreille. On considère comme Laato [455] et ses collègues, qu'il est important que la technologie offre des outils permettant la collaboration dans le but de faciliter le travail en équipe. De plus, les technologies éducatives devraient être conçues pour soutenir différentes méthodes pédagogiques, ce qui permettrait d'apporter de la diversité dans l'enseignement à distance.

Même si l'offre d'applications de formation auditive était déjà vaste en 2021 (nous avons examiné plus de 40 applications), diverses fonctionnalités telles que le chant ou l'exécution de la réponse avec l'instrument, des fonctions de

gamification et une meilleure ergonomie des interfaces utilisateur semblent rendre les applications plus attrayantes pour les étudiants. Elles sont également de plus en plus utilisées par les institutions académiques [526], et les recherches dans ce domaine sont de plus en plus nombreuses dans différentes disciplines (comme il est montré dans un chapitre précédent).

Il existe de nombreuses applications de formation auditive, mais elles ne sont pas totalement intégrées. Comme le suggère la recherche, les solutions technologiques en matière d'éducation sont parfois conçues et proposées parce qu'elles sont possibles, plutôt que parce qu'elles sont utiles. Il se pourrait que ce soit le cas pour ce type d'applications. Il est possible que le marché des applications éducatives ait bénéficié du confinement et du besoin d'outils technologiques pour faciliter l'éducation [770]. Néanmoins, cette croissance de l'offre n'est peut-être pas étayée par des raisons pédagogiques, l'expérience des enseignants ou des recherches sur les stratégies d'apprentissage.

Comme mentionné précédemment, un aspect essentiel est que, depuis 1977, les directives concernant la théorie musicale et la formation auditive en France établissent que les exemples musicaux doivent porter sur des « pièces réelles du répertoire ». Cela signifie que les exercices de formation de l'oreille doivent être contextualisés pour être plus efficaces. Par conséquent, la plupart des applications existantes ne s'alignent pas sur ce cadre pédagogique, et leur contenu peut rapidement s'avérer insuffisant ou tout simplement inutile pour les enseignants.

Comme le montrent les résultats, les principales causes des difficultés d'apprentissage identifiées par les élèves sont la mémoire, la concentration et la motivation. Ces compétences font partie des fonctions exécutives qui sont un ensemble de processus mentaux qui nous permettent d'être attentifs, de rester concentrés, de planifier et d'atteindre des objectifs, entre autres activités [202]. Des recherches ont montré la possibilité d'améliorer les fonctions exécutives par la conception de jeux vidéo [524, 67]. Dans ce contexte, il serait bénéfique d'intégrer la formation aux fonctions exécutives dans la technologie éducative afin de fournir une stratégie holistique pour la réussite de l'apprentissage. Tout en travaillant sur des exercices auditifs spécifiques, les élèves pourraient être en mesure d'améliorer des stratégies qui auraient un impact sur le reste de leurs habitudes d'apprentissage. Les applications pourraient également inclure des

stratégies métacognitives explicites qui augmenteraient les performances des élèves [421].

Les résultats des autres universités françaises confirment la tendance des réponses observée à la Sorbonne, mais le faible nombre de réponses doit être pris en compte. Même si l'université française possédant le plus d'étudiants inscrits en musicologie, ainsi que des populations d'étudiants d'autres régions de France, ont participé à cette enquête, les résultats ne peuvent pas être généralisés, car toutes les universités présentent des circonstances particulières. Nous estimons que cette étude exploratoire peut donner un aperçu de la manière dont les étudiants abordent les applications de formation à l'oreille, mais il pourrait y avoir une étude longitudinale et une étude d'intervention afin de comprendre comment toute population évoluerait avec l'utilisation d'une application d'apprentissage spécifique.

Cette étude aborde le fait que certains étudiants ont besoin d'utiliser une application de formation de l'oreille pour améliorer leur apprentissage. En outre (même si cette discussion dépasse le cadre de cette étude), il est clair que l'apprentissage de l'oreille peut présenter des difficultés, quels que soient les antécédents, les objectifs ou les habitudes des étudiants. Étant donné le nombre d'étudiants qui utilisent ce type de technologie, il serait important que la communauté des enseignants étudie l'offre sur le marché afin de guider les étudiants vers les meilleures options. Dans un scénario idéal, il serait important que les développeurs, les enseignants et les institutions travaillent ensemble afin de fournir des solutions pour compléter l'apprentissage des étudiants qui en ont besoin.

## 2.5 Récapitulatif

Le XXI<sup>e</sup> siècle est marqué par une profonde transformation de nos sociétés, notamment dans les domaines de l'éducation et du travail. L'avènement des technologies de l'information et de la communication (TIC) a bouleversé nos interactions quotidiennes et nos approches pédagogiques, donnant naissance à ce que l'on appelle l'éducation 4.0. Ce nouveau modèle éducatif se caractérise par l'intégration de formats d'apprentissage numériques flexibles, l'importance crois-

sante des compétences par rapport aux connaissances pures, et le rôle transformé des enseignants en mentors. La pandémie de COVID-19 a accéléré cette transition en imposant l'adoption rapide d'outils numériques pour l'enseignement à distance.

Malgré la présence ubiquitaire des smartphones, tablettes et autres appareils connectés, l'adoption des technologies numériques dans l'enseignement musical reste en deçà de son plein potentiel. Des applications dédiées à l'apprentissage musical, comme EarMaster et Musition, existent déjà et proposent des approches pédagogiques innovantes pour améliorer la reconnaissance musicale. Cependant, leur impact est freiné par un manque d'intégration efficace dans les pratiques pédagogiques traditionnelles.

Nous avons mené une étude approfondie sur l'évolution de l'utilisation des outils numériques dans l'apprentissage auditif. En analysant les publications depuis les premières expériences jusqu'à leur intégration actuelle dans l'éducation musicale, nous avons retracé l'histoire de la recherche dans ce domaine. Depuis les discussions préliminaires sur l'apprentissage et l'enseignement programmés dans les années 1920, jusqu'à l'intégration de capacités sonores dans le système PLATO en 1960, les technologies appliquées à l'apprentissage musical ont connu une expansion continue. Les décennies suivantes ont vu l'émergence de nouvelles approches pour l'apprentissage des mélodies, du rythme et des répertoires musicaux spécifiques.

En suivant les directives PRISMA, nous avons réalisé une revue systématique de la littérature pertinente, en nous concentrant sur l'utilisation des technologies dans la formation auditive et l'éducation musicale. Notre étude a inclus des données extraites en français, anglais et espagnol, et a examiné des articles publiés jusqu'en 2024.

Stimulée par le passage à l'enseignement à distance pendant la pandémie, la recherche sur les outils numériques pour l'entraînement auditif a connu une croissance exponentielle. Si la facilité de publication et l'accent mis sur l'intégration de la technologie sont des points positifs, des défis subsistent. Le manque d'uniformité dans les méthodes d'évaluation et l'absence de standardisation des rapports rendent les comparaisons difficiles. Les chercheurs explorent des approches diverses, telles que la contextualisation des exercices, le feedback

multisensoriel, la réalité virtuelle et la gamification, dans le but d'accélérer l'acquisition des connaissances et l'engagement des étudiants. Ces avancées soulignent le potentiel des outils numériques pour améliorer l'enseignement de l'oreille, mais un effort collectif est nécessaire pour définir des normes d'évaluation et de reporting cohérentes.

L'enseignement de la formation auditive au conservatoire et à l'université présente des défis spécifiques. Au conservatoire, les élèves manquent souvent d'analyse critique de l'écoute musicale et présentent des niveaux de connaissances musicales très hétérogènes, ce qui complique la motivation. Pour relever ces défis, les enseignants adoptent des approches, telles que la contextualisation des exercices, l'utilisation d'outils interactifs et l'intégration de l'improvisation. Ils soulignent également l'importance de dépasser la dichotomie entre le ludique et le sérieux, et de promouvoir une approche inclusive de la musique. A Sorbonne Université les enseignants aspirent à des outils numériques intégrés qui s'alignent harmonieusement sur leurs méthodes pédagogiques, répondent aux besoins diversifiés des étudiants en formation auditive et facilitent le suivi et l'évaluation de leur développement musical.

Le développement de logiciels d'entraînement auditif est motivé par une passion commune pour la musique et la technologie chez des individus aux parcours variés en musique et en informatique. Ces logiciels, tels que Meludia, EarMaster, Complete Ear Trainer et le test BbMAT, partagent l'objectif commun d'améliorer l'oreille musicale des utilisateurs grâce à des exercices et des leçons interactifs. Bien qu'ils visent tous à améliorer la perception auditive et la compréhension musicale, ils diffèrent par leurs approches pédagogiques, leur contenu et leur public cible. L'intégration de ces outils dans l'enseignement musical se heurte à des défis liés aux résistances culturelles, aux limitations technologiques, budgétaires et aux perspectives pédagogiques. Malgré ces obstacles, les avantages potentiels des logiciels d'entraînement auditif sont évidents, et leur évolution continue et leur adaptation aux besoins des utilisateurs suggèrent un avenir prometteur pour ces outils dans le façonnement du paysage de l'enseignement musical.

Les trois conseillers pédagogiques de l'étude utilisent les outils numériques de manière réfléchie et adaptable, en ajustant leur approche aux besoins divers de leurs élèves. L'utilisation de Musescore par C1 a encouragé l'autonomie des

élèves, tandis que MAB a intégré avec succès SoundTrap dans le programme scolaire. MB, bien qu'exprimant un certain scepticisme envers les outils numériques, a trouvé une utilité aux applications ludiques comme Meludia et EarMaster. Les enseignantes partagent une vision commune sur l'utilisation judicieuse du numérique, C1 critiquant les logiciels centrés sur le solfège et plaidant pour une approche plus large de l'éducation musicale. MAB souligne les avantages des outils numériques pour la création musicale et la collaboration, tandis que MB insiste sur l'importance de l'enseignement musical en présentiel.

La plupart des étudiants en musicologie manquent de confiance en leurs compétences et ressentent le besoin de compléter leur apprentissage par des applications de formation auditive. Les étudiants font état d'améliorations grâce aux applications. Ils expriment leur satisfaction de pouvoir étudier n'importe quel sujet n'importe où et n'importe quand, mais ils ne sont pas satisfaits de la qualité du son, de la conception visuelle et de l'absence de guide pédagogique. De plus, les applications actuellement disponibles ne s'alignent pas sur les contenus académiques, ce qui nuit à leur efficacité. L'intégration de ces applications comme méthode alternative peut être bénéfique pour les élèves en difficulté. Ces applications peuvent être adaptées aux besoins de l'élève et alignées sur la pédagogie et le contenu des enseignants. L'intégration d'applications contextualisées d'entraînement de l'oreille dans les programmes d'éducation musicale peut conduire à un système éducatif plus inclusif qui permet différents types de résultats créatifs et offre aux élèves davantage de possibilités de réussite. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour identifier les moyens les plus efficaces d'intégrer ces applications dans l'éducation musicale formelle et d'améliorer leur facilité d'utilisation et leur efficacité.

## Neuropédagogie dans l'apprentissage auditif

L'apprentissage auditif constitue un élément fondamental de l'éducation musicale, permettant aux élèves d'acquérir des compétences essentielles à la compréhension et à la pratique de la musique. Dans ce contexte, la neuropédagogie émerge comme un champ d'investigation prometteur, offrant un cadre conceptuel précieux pour optimiser les processus d'apprentissage auditif.

Ce chapitre s'inscrit dans une démarche exploratoire des principes neuropédagogiques appliqués à l'apprentissage auditif. En premier lieu, il s'attache à clarifier les fondements théoriques de l'apprentissage, en examinant les mécanismes cognitifs sous-jacents à l'acquisition et à la rétention des connaissances musicales.

Ensuite, il approfondit les piliers de l'apprentissage auditif, en mettant en lumière l'interaction complexe entre la perception et la cognition musicales. Cette analyse met en évidence les processus par lesquels les individus perçoivent, interprètent et réagissent aux stimuli sonores, soulignant le rôle crucial de la perception auditive dans l'apprentissage musical.

L'ergonomie cognitive occupe une place centrale dans ce chapitre, en explorant les facteurs cognitifs qui influencent l'efficacité de l'apprentissage auditif. L'analyse des exigences cognitives des tâches musicales permet de concevoir des environnements d'apprentissage optimaux, favorisant l'engagement des élèves,



minimisant la fatigue mentale et optimisant les performances musicales.

La gamification et les jeux sérieux sont présentés comme des outils innovants au service de l'apprentissage auditif. Ces approches ludiques et immersives offrent un potentiel considérable pour captiver les élèves, les motiver à persévérer face aux défis et cultiver une pratique habituelle de la musique.

En conclusion, ce chapitre propose un ensemble de directives fondées sur des principes neuropédagogiques, ainsi que le contexte étudié par les chapitres précédents pour le développement d'un outil numérique d'apprentissage auditif.

### 3.1 Théories de l'apprentissage

« L'apprentissage est défini comme un processus au cours duquel l'entropie subjective d'un système, ou l'information manquante, diminue avec le temps, lui permettant d'optimiser ses réponses aux stimuli externes » [635]

L'éducation est fondamentalement un phénomène social intrinsèque à la vie en société. Toutes les civilisations ont toujours accordé une grande importance à la transmission des connaissances et des valeurs qui leur sont propres. Pour atteindre une transmission de connaissances optimale, divers processus sont nécessaires, notamment ceux liés aux théories de l'apprentissage. De nombreux pédagogues et psychologues ont élaboré différentes théories visant à expliquer le processus d'apprentissage et à identifier les meilleures méthodes pour le rendre plus efficace.

Dans cette section, nous analysons le rôle des théories de l'apprentissage dans l'éducation musicale. À l'instar de O'Neill et Senyshyn [590], nous soutenons que ces théories n'expliquent pas seulement comment les gens apprennent, mais qu'elles influencent également nos attentes vis-à-vis des apprenants en musique, les problèmes sur lesquels nous nous concentrons et même la façon dont nous parlons de l'apprentissage musical. En comprenant comment ces théories se sont développées, nous pouvons mieux saisir l'évolution des méthodes d'apprentissage musical, en particulier en ce qui concerne l'apprentissage auditif. Cependant, la conceptualisation de l'apprentissage peut créer des avantages pour certains élèves tout en imposant des obstacles à d'autres. Les théories de l'apprentissage ne sont pas des vérités objectives, mais plutôt des construc-

tions historiques et sociales qui influencent ce que nous considérons comme un apprentissage musical « valide ».

### 3.1.1 Développement historique des théories de l'apprentissage

Si les théories philosophiques de l'apprentissage, qui s'intéressent à la nature et à la possibilité du savoir, existent depuis des siècles, ce sont les théories psychologiques de l'apprentissage qui ont dominé le 20<sup>e</sup> siècle, en particulier dans l'éducation nord-américaine. Ces théories psychologiques s'appuient sur le positivisme logique et visent à créer des propositions vérifiables à partir de données observables. Cette approche a eu un impact important sur la façon dont nous comprenons l'apprentissage dans l'éducation musicale occidentale et sur la manière dont nous menons des recherches sur ce sujet. En résumé, elle a façonné à la fois notre définition de l'apprentissage et les méthodes que nous utilisons pour l'étudier dans un contexte musical.

Jusqu'à environ 1950, l'histoire des théories de l'apprentissage a été marquée par le développement de différentes approches qui ont donné les bases des compréhensions ultérieures plus complexes de l'apprentissage. On remarque notamment :

La Psychologie de la Gestalt Allemande, émergée à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle et au début du XX<sup>e</sup> siècle, trouve ses racines dans la création du premier département de psychologie par Wilhelm Wundt à Leipzig en 1875. Hermann Ebbinghaus a mené des expériences significatives sur l'apprentissage et la mémoire, en se focalisant spécifiquement sur des syllabes dénuées de sens. L'objectif était de distinguer l'apprentissage pur de l'influence du sens. Cette approche allemande a évolué graduellement vers la psychologie de la Gestalt, qui met l'accent sur la perception d'entités cohérentes (Gestalt) et la compréhension des phénomènes à travers leurs structures et leurs connexions [591].

Le Béhaviorisme Américain, établi par John B. Watson en 1913, a dominé la compréhension académique de l'apprentissage pendant environ 60 ans, se concentrant sur les comportements observables et mesurables, et excluant des concepts tels que la conscience et les émotions. Il traitait l'apprentissage comme un processus mécanique, souvent étudié à travers des expériences sur les ani-

maux [822].

La Théorie Culturelle-Historique Russe, développée en Union soviétique à partir du milieu des années 1920 par des psychologues tels que Lev Vygotsky, mettait en avant l'idée que l'apprentissage est façonné à la fois par le développement phylogénétique humain et l'utilisation d'outils pratiques et de fonctions mentales supérieures. Le concept clé était la 'zone de développement proximal', soulignant une zone cruciale pour un apprentissage qualitativement nouveau, avec une emphase sur l'orientation des enseignants [156].

Le Constructivisme de Piaget, dans les années 1920, élaboré par le biologiste suisse Jean Piaget, présentait un cadre théorique complet, en particulier sa théorie des stades sur le développement de l'intelligence humaine à travers l'enfance. Piaget distinguait entre l'apprentissage par addition et l'apprentissage par changement ou reconstruction, mettant l'accent sur l'assimilation et l'accommodation dans la construction de la compréhension par les apprenants [637].

Au-delà de ces théories formelles de l'apprentissage, deux figures influentes ont apporté des contributions indirectes : Freud (De la fin du XIXe à la mi-XXe siècle) : La psychanalyse de Sigmund Freud a attiré l'attention sur les aspects émotionnels de l'apprentissage, contrastant avec la compréhension prédominante axée sur la cognition. Des concepts tels que les mécanismes de défense étaient considérés comme pertinents pour la compréhension de l'apprentissage.[211]

Dewey (De la fin du XIXe à la mi-XXe siècle) : Le travail de John Dewey sur l'éducation et la pédagogie, bien que ne constituant pas une théorie spécifique de l'apprentissage, mettait l'accent sur une approche centrée sur l'enfant et le « apprendre en faisant ». Ses idées prenaient en compte des aspects essentiels tels que l'expérience et la motivation, distinguant entre l'organisation logique et psychologique des processus d'apprentissage.[211]

Après la Seconde Guerre mondiale, l'attention s'est portée sur d'autres préoccupations, notamment en Europe, en Allemagne et en Russie. Ainsi, les initiatives dans le domaine de la théorie de l'apprentissage ont été principalement laissées aux Américains.

Aux États-Unis, le comportementalisme de B.F. Skinner a dominé, considérant le comportement humain comme déterminé par l'interaction entre la constitution individuelle et l'environnement. Skinner réduisait l'apprentissage à

une question technique, mettant l'accent sur le contrôle externe et considérant les émotions et la motivation comme non pertinentes. Cette approche excluait les préoccupations liées au développement personnel, au sens et à d'autres qualités humaines[728].

En revanche, la psychologie humaniste a émergé aux États-Unis, offrant une alternative au behaviorisme et à la psychanalyse. Carl Rogers, une figure clé, a introduit la thérapie centrée sur le patient et des concepts tels que l'enseignement centré sur l'élève et l'apprentissage significatif, mettant l'accent sur un changement dans l'organisation du soi. Cette approche s'opposait au behaviorisme, bien que son impact ait été plus prononcé en Europe après les révoltes de 1968[666].

Au même temps, les réfugiés allemands ont eu une influence significative sur la théorie de l'apprentissage américaine d'après-guerre. La théorie de champ de Kurt Lewin, inspirée de la psychologie de la Gestalt allemande, a contribué à l'apprentissage organisationnel et à la psychologie des groupes[411]. Le travail d'Erik Erikson sur le développement de l'identité et les contributions des chercheurs associés à l'École de Francfort ont également façonné une compréhension plus humaniste de l'apprentissage et de la psychologie[236].

Les années 1960 ont marqué un tournant avec l'avènement des sciences cognitives, stimulées par le lancement du premier satellite par la Russie soviétique en 1957. Sous la direction de Jerome Bruner, un groupe d'experts a préconisé le « curriculum scientifique », mettant l'accent sur la compréhension des structures de base et encourageant une plus grande activité des étudiants[105]. Les œuvres traduites de Piaget, l'insistance de David Ausubel sur la connexion des nouvelles impulsions avec les structures mentales existantes, et le concept de « cumulation » de Thomas Nissen ont comblé l'écart entre le behaviorisme et d'autres types d'apprentissage. De nouvelles perspectives ont également émergé, notamment l'accent de Daniel Berlyne sur la curiosité et le conflit en tant que motivations, l'introduction de l'apprentissage social par Alfred Bandura et l'arrangement hiérarchique des catégories comportementales par Robert Gagné, remettant en question le behaviorisme comme seule approche acceptable de l'apprentissage humain [94].

Au début des années 1970, le paysage de l'apprentissage a subi une transfor-

mation significative, stimulée par les développements techniques et économiques mondiaux. Le rapport de l'UNESCO intitulé « Apprendre à être » a joué un rôle central, préconisant que l'apprentissage était essentiel pour chacun tout au long de sa vie, servant d'enrichissement personnel et social. Cela a jeté les bases du concept de la « société apprenante » [247].

L'émergence de l'apprentissage tout au long de la vie a gagné en importance, influencée par les idées de Malcolm Knowles sur l'apprentissage des adultes. Les années 1970 ont vu l'émergence d'approches novatrices axées sur la libération et l'émancipation dans l'éducation des adultes. L'approche « Imagination sociologique et apprentissage exemplaire » d'Oskar Negt en Allemagne, le travail de Paulo Freire au Brésil et l'apprentissage transformateur de Jack Mezirow aux États-Unis étaient des exemples notables [333].

Les théories culturelles-historiques russes, en particulier le concept de la zone de développement proximal de Vygotsky, ont influencé les éducateurs en Amérique, conduisant à l'approche éducative « ZopEd » [156]. Dans les années 1970, Chris Argyris et Donald Schön ont exploré l'apprentissage au travail, mettant l'accent sur l'apprentissage individuel par rapport à l'apprentissage organisationnel [27].

Le milieu des années 1980 a mis en avant l'apprentissage expérientiel, avec le modèle de David Kolb et le Consortium International pour l'Apprentissage Expérientiel (réseau ICEL) contribuant de manière significative [438]. L'apprentissage social et situé a gagné en attention à la fin des années 1970, mettant l'accent sur la dimension sociale dans l'apprentissage des adultes. Le constructionnisme social de Kenneth Gergen et l'apprentissage situé de Jean Lave ont fourni des perspectives cruciales [294].

La distinction de Howard Gardner entre l'apprentissage intuitif, l'apprentissage scolaire et l'apprentissage intuitif-expert en 1991 a offert une perspective précieuse. La nouveauté réside dans la mise en lumière de l'apprentissage intuitif, fondé sur une perception immédiate, une pratique que les êtres humains ont exercée depuis des millénaires avant l'émergence de la reconnaissance construite et scientifique [279]. Le concept d'échafaudage de Jerome Bruner [105], les récits et l'apprentissage biographique, ainsi que le travail de Peter Alheit [18] sur la compréhension subjective dans les récits de vie, ont enrichi davantage le paysage

des théories de l'apprentissage par rapport à la vie de chaque individu.

**L'influence de l'évolution de théories de l'apprentissage sur l'éducation musicale** Les années 1970 et 1980 ont été marquées par un changement important dans l'éducation musicale, avec l'intégration croissante des théories de l'apprentissage, en particulier celles ancrées dans la psychologie cognitive et le constructivisme [513]. Cette transformation a été motivée par une reconnaissance croissante du rôle que ces théories pouvaient jouer dans l'amélioration du développement des programmes d'études, des stratégies d'enseignement et des méthodologies de recherche.

Avant cette période, les théories de l'apprentissage n'étaient pas largement utilisées dans l'éducation musicale. Cependant, les contributions des théoriciens comme Jerome Bruner [105], qui mettait l'accent sur l'apprentissage conceptuel et le séquençage développemental, et Lev Vygotsky [709], qui soulignait l'importance des interactions sociales et des contextes culturels dans l'apprentissage, ont porté ces théories au premier plan du domaine.

La création de groupes d'intérêt de recherche par la *Music Educators National Conference* (MENC) et le *Music Educators Research Council* (MERC) en 1978 a encore solidifié l'intégration des théories de l'apprentissage dans la recherche en éducation musicale. Ces groupes, dédiés à des domaines tels que la perception et la cognition, l'apprentissage et le développement, ont fourni une plateforme aux chercheurs pour explorer les implications de ces théories pour la compréhension et l'amélioration de l'apprentissage musical [761].

L'avènement des ordinateurs et les progrès de l'intelligence artificielle ont encore élargi l'application des théories de l'apprentissage dans l'éducation musicale. L'enseignement assisté par ordinateur (EAO) est apparu comme un outil pour mettre en œuvre les principes behavioristes, tandis que les simulations et les modèles interactifs alignés sur les approches constructivistes ont gagné en importance.

Malgré l'adoption généralisée des théories de l'apprentissage, des préoccupations persistaient quant à la rigueur avec laquelle leur validité de construction était examinée avant leur application. Cette question souligne l'importance de concilier les cadres théoriques avec les preuves empiriques pour garantir des

pratiques efficaces et fondées sur des preuves dans l'éducation musicale.

### 3.1.2 Principales théories de l'apprentissage

L'acquisition de connaissances, un processus crucial pour les individus, est sujet à une complexité qui a suscité l'intérêt de nombreux théoriciens à travers l'histoire. Ces penseurs ont contribué à enrichir notre compréhension de l'apprentissage, offrant ainsi des bases explicatives variées. Dans cette partie, nous examinons les différentes perspectives sur l'apprentissage et leur impact sur les méthodes d'enseignement.

#### Le béhaviorisme

En 1913, le psychologue américain John Watson a introduit le terme « béhaviorisme » dérivé du mot *behaviour* (comportement). Selon ce modèle, l'idée fondamentale est que tout être vivant est conditionné, modelé et façonné par son environnement, le contexte et le milieu dans lequel il se trouve [822].

Le behaviorisme se concentre principalement sur les aspects observables et mesurables du comportement humain. En définissant le comportement, les théories d'apprentissage béhavioristes mettent l'accent sur les changements dans le comportement résultant des associations stimulus-réponse faites par l'apprenant. Le comportement est dirigé par des stimuli. Un individu sélectionne une réponse plutôt qu'une autre en raison d'un conditionnement antérieur et de pulsions psychologiques existant au moment de l'action [613].

La théorie béhavioriste affirme que seuls les comportements dignes d'étude sont ceux qui peuvent être directement observés ; ainsi, ce sont les actions, plutôt que les pensées ou les émotions, qui constituent l'objet légitime d'étude. La théorie béhavioriste n'explique pas le comportement anormal en termes de cerveau ou de ses mécanismes internes. Elle postule plutôt que tout comportement est constitué d'habitudes apprises et cherche à expliquer comment ces habitudes se forment[822].

En supposant que le comportement humain est appris, les béhavioristes estiment également que tous les comportements peuvent être désappris et remplacés par de nouveaux comportements ; autrement dit, lorsqu'un comportement

devient inacceptable, il peut être remplacé par un comportement acceptable. Un élément clé de cette théorie de l'apprentissage est la réponse récompensée. La réponse souhaitée doit être récompensée pour que l'apprentissage ait lieu [613].

En éducation, les partisans du behaviorisme ont efficacement adopté ce système de récompenses et de punitions dans leurs salles de classe en récompensant les comportements souhaités et en punissant les comportements inappropriés. Les récompenses varient, mais doivent être importantes pour l'apprenant d'une manière ou d'une autre. Le succès dépend de chaque stimulus et de chaque réponse de l'élève, ainsi que des associations faites par chaque apprenant[613].

John B. Watson (1878-1958) et B. F. Skinner (1904-1990) sont les deux principaux fondateurs des approches behavioristes de l'apprentissage.

John B. Watson met l'accent sur l'importance de l'observation du comportement manifeste plutôt que de spéculer sur les motifs subconscients pour comprendre le développement humain. La perspective de Watson sur l'apprentissage a été influencée par les études de Ivan Pavlov sur le conditionnement classique. Les expériences de Pavlov avec des chiens, où une cloche était sonnée avant le repas, ont conduit les chiens à associer le son de la cloche à la salivation, démontrant des réponses conditionnées. Pavlov a observé que le réflexe conditionné pouvait être réprimé si le stimulus s'avérait trop souvent « incorrect » ; si la cloche sonnait et aucune nourriture n'apparaissait, le chien finissait par ne plus saliver au son de la cloche[843].

Watson croyait que le comportement humain découlait de stimuli spécifiques qui suscitaient des réponses particulières. La prémisse fondamentale de Watson était que les conclusions sur le développement humain devaient être basées sur l'observation du comportement manifeste plutôt que sur des spéculations concernant des motifs subconscients ou des processus cognitifs latents.

B.F. Skinner a élaboré le concept de « conditionnement opérant », qui a été initialement introduit par Edward Thorndike en 1913, le distinguant ainsi du conditionnement classique de Pavlov de 1901. Sa thèse affirme que « le comportement peut être façonné par l'utilisation appropriée des conditionnements appropriés »[726]. Skinner refuse toute explication mentale ou cognitive, mettant l'accent sur deux éléments cruciaux : le stimulus et la réponse, en décrivant la connexion qui les lie. Son intérêt particulier se porte sur le « réflexe », défini



comme une « corrélation observée entre le stimulus et la réponse ».

Skinner caractérise l'apprentissage comme une transformation du comportement suscitée par les stimuli externes. Il soutient que l'acquisition de compétences peut être réalisée en utilisant des récompenses, qualifiées de « renforcements positifs » (par exemple, l'attribution de bonnes notes aux élèves), ainsi que des sanctions, désignées comme des « renforcements négatifs » (par exemple, la remise de mauvaises notes à l'élève).

Le béhaviorisme est critiqué pour avoir simplifié de manière excessive le comportement humain, le réduisant à des associations simples entre stimulus et réponse et négligeant les processus cognitifs complexes impliqués. Par exemple, il pourrait expliquer la peur d'un enfant envers les chiens uniquement sur la base d'une expérience négative passée, en ignorant les pensées et les émotions de l'enfant. Une autre critique concerne le manque d'attention porté à la génétique et à la biologie dans la formation du comportement, les béhavioristes mettant l'accent sur l'environnement et le renforcement sans tenir compte adéquatement des influences biologiques. De plus, le béhaviorisme ne parvient pas à expliquer les motivations complexes derrière le comportement humain, attribuant les actions uniquement au renforcement et à la punition plutôt que de reconnaître les valeurs et croyances personnelles. Certains critiques soutiennent que le béhaviorisme est excessivement déterministe, ignorant le rôle du libre arbitre dans le comportement humain, car il affirme que le comportement est uniquement déterminé par l'environnement et ses conséquences[510].

**Dans l'éducation musicale** Plusieurs chercheurs, dont Clifford Madsen [507], Robert Duke [221], Harry Price [649] et Cornelia Yarbrough [858], ont appliqué le modèle de conditionnement opérant à l'étude de l'apprentissage musical. Ce modèle met l'accent sur le rôle du renforcement (récompenses et punitions) dans le façonnement du comportement [220].

De plus, Madsen (1981) [508] a examiné l'utilisation de la musique elle-même comme forme de renforcement. L'étude de Madsen s'appuie sur des travaux antérieurs ayant démontré qu'un gain de connaissances dans une matière (la musique) pouvait accompagner l'amélioration des performances scolaires lorsque la musique était utilisée comme récompense. Ici, les chercheurs ont

comparé des livres et des leçons de musique télévisées pour voir si les deux pouvaient augmenter les scores en mathématiques et, plus important encore, si les leçons de musique conduisaient à un apprentissage réel du contenu musical. Ils ont constaté que la méthode était très bénéfique et améliorait même les connaissances musicales des élèves.

Le modèle d'apprentissage behavioriste a joué un rôle clé dans l'utilisation de la technologie pour l'enseignement en éducation musicale. L'enseignement programmé, un concept central du behaviorisme, consiste à décomposer l'apprentissage en petites étapes gérables. Les machines d'enseignement, qui peuvent aller des feuilles de travail aux programmes d'enseignement assisté par ordinateur (EAO), délivrent ces étapes sous forme d'indices ou de questions. Les élèves répondent, et la machine leur fournit un feedback ou un renforcement sous forme d'informations supplémentaires ou d'éloges. Les premiers programmes étaient linéaires, tous les élèves suivant la même séquence à leur propre rythme. Les versions ultérieures sont devenues ramifiées, permettant aux élèves avancés de contourner le matériel déjà maîtrisé. Des études de l'enseignement programmé et de l'EAO dans l'éducation musicale sont disponibles auprès d'Orman [598], de Francès [261] ou de Mialaret [547].

### **Le constructivisme**

En réaction aux approches didactiques telles que le behaviorisme et l'instruction programmée, le constructivisme affirme que l'apprentissage est un processus actif et contextualisé de construction de la connaissance plutôt que son acquisition. La connaissance est construite sur la base d'expériences personnelles et d'hypothèses sur l'environnement. Les apprenants testent continuellement ces hypothèses par la négociation sociale. Chaque personne a une interprétation différente et un processus de construction des connaissances. L'apprenant n'est pas une page blanche (*tabula rasa*) mais apporte des expériences passées et des facteurs culturels à une situation.

Le constructivisme est une théorie de l'apprentissage qui suggère que la connaissance est acquise de manière plus efficace à travers un processus de réflexion approfondie et de construction mentale active. Par conséquent, la connais-

sance est considérée comme une interprétation intersubjective. Le participant doit évaluer les informations présentées, en s'appuyant sur des expériences passées, des perspectives personnelles et des antécédents culturels pour formuler une interprétation. Le constructivisme peut être divisé en deux perspectives principales : le constructivisme radical (ou cognitif) qui affirme que le processus de construction de la connaissance dépend de l'interprétation subjective des expériences actives de l'individu. Le constructivisme social, quant à lui, soutient que le développement humain est socialement situé et que la connaissance est formée par l'interaction avec autrui [520].

Il y a trois psychologues fondamentaux du constructivisme. Jean Piaget appartient au courant du constructivisme cognitive. D'autre part, Lev Vygotsky se concentre sur les aspects sociaux de l'apprentissage à travers les expériences. John Dewey, quant à lui, jongle entre les deux perspectives et partage de nombreuses idées avec chaque camp. Le point commun qui a uni ces psychologues sous le terme général du constructivisme est que tous les trois croyaient que les théories de l'apprentissage de l'époque (comme le béhaviorisme et l'humanisme) ne représentaient pas adéquatement le processus réel d'apprentissage. De plus, leurs idées étaient enracinées dans les expériences en classe plutôt que dans des expériences en laboratoire (comparativement au béhaviorisme).

À partir de son observation des enfants, Piaget a compris que les enfants créaient des idées[446]. Ils n'étaient pas limités à recevoir des connaissances de leurs parents ou enseignants; ils construisaient activement leur propre savoir. Le travail de Piaget constitue la base sur laquelle reposent les théories constructivistes. Les constructivistes estiment que la connaissance est construite et que l'apprentissage se produit lorsque les enfants créent des produits ou des artefacts. Ils affirment que les apprenants sont plus susceptibles de s'engager dans l'apprentissage lorsque ces artefacts sont personnellement pertinents et significatifs.

En étudiant le développement cognitif des enfants et des adolescents, Piaget a identifié quatre grandes étapes : le stade sensorimoteur, le stade préopératoire, le stade opératoire concret et le stade opératoire formel. Piaget croyait que tous les enfants passent par ces phases pour progresser vers le niveau suivant du développement cognitif. À chaque étape, les enfants démontrent de nouvelles

capacités intellectuelles et une compréhension du monde de plus en plus complexe. Les étapes ne peuvent pas être « sautées » ; le développement intellectuel suit toujours cette séquence. Les âges auxquels les enfants progressent à travers les étapes sont des moyennes et varient en fonction de l'environnement et de l'histoire individuelle des enfants. À un moment donné, un enfant peut présenter des comportements caractéristiques de plus d'une étape.

La période de l'adolescence à l'âge adulte correspond à la phase opératoire formelle. Les adolescents et les adultes utilisent des symboles liés à des concepts abstraits. Les adolescents peuvent réfléchir à plusieurs variables de manière systématique, formuler des hypothèses et penser à des relations et des concepts abstraits.

Piaget pensait que le développement intellectuel était un processus tout au long de la vie, mais qu'une fois atteinte la pensée opératoire formelle, aucune nouvelle structure n'était nécessaire. Le développement intellectuel chez les adultes implique la création de schémas plus complexes par l'ajout de connaissances[520].

Vygotsky, un psychologue de l'éducation, a élaboré une théorie de l'apprentissage socioculturelle suggérant que l'interaction sociale entraîne des changements progressifs dans la pensée et le comportement des enfants, présentant d'importantes variations culturelles [832]. Essentiellement, la théorie de Vygotsky suggère que le développement dépend des interactions avec d'autres individus et des outils culturels qui contribuent à façonner leur vision du monde. Les outils culturels sont transmis entre individus de trois manières. La première implique l'apprentissage par imitation, où une personne émule ou reproduit une autre. La deuxième méthode est l'apprentissage instruit, où les individus se souviennent des instructions d'un enseignant et les utilisent pour l'auto-régulation. La troisième manière dont les outils culturels sont transmis est par l'apprentissage collaboratif, où un groupe de pairs collabore pour se comprendre mutuellement et acquérir collectivement une compétence spécifique [786].

Le travail de Lev Vygotsky met en avant les aspects sociaux de l'acquisition des connaissances, soulignant que l'interaction avec les autres favorise un meilleur apprentissage. Il insiste sur l'influence de la culture dans le développement cognitif, affirmant que les nourrissons naissent avec des capacités de

base qui sont ensuite enrichies par l'interaction sociale, évoluant ainsi vers des processus mentaux plus complexes.

La perspective de Vygotsky sur le monde social va au-delà des interactions individuelles pour englober des influences plus larges liées à la société, à la culture et à l'histoire sur les environnements d'apprentissage. Les éléments essentiels de la théorie du développement cognitif de Vygotsky sont souvent résumés en trois thèmes clés : (i) l'importance de la culture, (ii) le rôle central du langage en tant que moteur culturel, et (iii) la relation de l'élève avec et sa croissance au sein de ce contexte socioculturel. La culture est définie comme des comportements, attitudes et croyances socialement acceptés, façonnés par des produits sociaux humains tels que des institutions, des systèmes de symboles et le langage. Cette conception dynamique de la culture est le produit d'événements historiques et du développement humain. Vygotsky souligne que, dans une période historique donnée, la culture influe activement sur le fonctionnement mental et le comportement humains, établissant une relation complexe entre l'environnement culturel et le développement individuel. Fondamentalement, les êtres humains contribuent à la culture tout en étant eux-mêmes façonnés par elle [786].

La théorie de Vygotsky souligne le rôle crucial du langage dans le développement humain, affirmant qu'il est essentiel pour la pensée et la conscience. Il croyait que le langage, en tant qu'outil culturel, façonne l'interaction sociale, influence le comportement et les attitudes, et contribue à l'évolution culturelle. Les étapes du développement de la parole - sociale, égocentrique et parole intérieure - illustrent la connexion évolutive entre le langage et la cognition. La parole sociale chez les jeunes enfants est principalement destinée à l'expression émotionnelle et au contrôle du comportement. La parole égocentrique, survenant entre 3 et 7 ans, représente une phase intermédiaire, tandis que la parole intérieure, ou auto-dialogue, se développe avec la maturité et est cruciale pour le fonctionnement mental supérieur. Vygotsky a introduit le concept d'intériorisation, où les valeurs externes deviennent des caractéristiques intrapersonnelles par un processus actif et participatif influencé par des facteurs socioculturels. Ce processus diffère de l'introjection et de la socialisation. Vygotsky affirmait que chaque fonction cognitive dans le développement de l'enfant se produit d'abord

sur le plan social, puis sur le plan individuel.

La perspective de Vygotsky suggère que la compréhension de l'activité psychologique d'un élève, telle que l'intelligence et la motivation, devrait se concentrer sur son comportement et sa performance dans des situations sociales plutôt que uniquement sur des caractéristiques individuelles. Le concept de la zone de développement proximal (ZPD) met en lumière la différence entre l'apprentissage indépendant d'un enfant et ce qu'il peut accomplir avec l'aide d'une personne plus compétente, souvent un adulte. Cela remet en question les tests traditionnels d'intelligence, soulignant l'importance de la contextualisation sociale et du potentiel de développement plutôt que des capacités cognitives statiques. La ZPD est une évaluation dynamique influencée par divers facteurs tels que les connaissances préalables, les attributs de personnalité et l'environnement d'apprentissage social. Elle souligne la nature centrée sur l'élève de l'éducation, indiquant que la progression vers les résultats d'apprentissage est façonnée par des réalisations guidées et subjectives à des étapes intermédiaires [709].

La zone proximale de développement (ZPD) est la différence entre ce qu'un apprenant peut accomplir sans assistance et ce qu'il peut réaliser avec l'aide et les encouragements d'un partenaire compétent. Elle englobe des tâches qui dépassent les capacités actuelles de l'apprenant mais qui deviennent accessibles avec le soutien d'une personne plus expérimentée. La ZPD représente la gamme de tâches qu'une personne ne peut pas effectuer de manière autonome mais peut achever avec un support. En d'autres termes, le terme « proximal » se réfère aux compétences que l'apprenant est sur le point de maîtriser. La ZPD garantit que le défi n'est ni trop difficile ni trop facile. C'est dans la ZPD que l'enseignement est le plus avantageux, car la tâche se situe juste au-delà des capacités individuelles [709].

John Dewey, philosophe et théoricien de l'éducation américain, partageait avec Piaget et Vygotsky le rejet de la mémorisation mécanique et des cours répétitifs. Il insistait sur le fait que les apprenants, en s'engageant dans des activités du monde réel, démontreraient des niveaux de connaissance plus élevés grâce à la créativité et à la collaboration. Dewey mettait en avant l'apprentissage expérientiel, soulignant que l'engagement actif avec le matériel était plus efficace

que l'écoute passive ou la mémorisation. Il encourageait également des méthodes de questionnement puissant et de dialogue en classe. Au cœur de sa théorie se trouvait l'idée que l'expérience humaine devrait guider l'éducation et la réforme sociale, avec une insistance sur l'ancrage des connaissances dans des expériences pratiques du monde réel [718].

John Dewey suggérait que l'apprentissage est un processus réciproque, croyant que les enseignants apprennent des élèves, créant ainsi une valeur ajoutée ensemble. Sa théorie de l'éducation progressive, mettant l'accent sur l'apprentissage pratique, a influencé l'éducation moderne à l'échelle mondiale. La philosophie de Dewey, mettant l'accent sur « l'apprentissage par l'action », affirme que la connaissance est activement construite par l'expérience, favorisant une interaction dynamique entre les apprenants et les objets de connaissance. L'apprentissage par problème est un aspect clé, encourageant la résolution de problèmes du monde réel pour une compréhension plus approfondie. Dewey souligne également l'interconnexion entre la vie humaine et sociale dans l'apprentissage, promouvant l'idée d'écoles comme des mini-sociétés favorisant le développement académique, social et démocratique [718].

**Dans l'éducation musicale** En 2011, Peter Webster [826] a analysé des écrits en éducation musicale inspirés par un ensemble complexe de croyances interconnectées sur l'apprentissage, souvent qualifiées de constructivistes. Il a mis en évidence les principaux éléments de la philosophie et des sciences sociales qui constituent le fondement des perspectives constructivistes, et a souligné l'importance du constructivisme social dans l'éducation. Webster a examiné le rôle de l'écriture conceptuelle en éducation musicale sur la pensée constructiviste et son rôle dans l'enseignement et l'apprentissage de la musique. Dans sa publication, il a analysé des écrits et des preuves empiriques sur l'application et l'efficacité de la vision constructiviste dans l'enseignement et l'apprentissage de la musique. L'analyse de Webster a révélé des résultats prometteurs, en particulier pour comprendre comment les élèves construisent du sens en musique, identifier des stratégies d'enseignement potentielles et encourager la participation des élèves. Cependant, de nombreux domaines nécessitent encore des recherches approfondies. Par exemple, nous ne comprenons pas encore parfaitement comment

le langage influence l'apprentissage, comment le sens construit par les élèves s'aligne avec les principes musicaux établis, ou quelles sont les méthodes les plus efficaces pour inciter les élèves à une compréhension musicale approfondie. De plus, l'étude souligne la nécessité de recherches sur les méthodes d'évaluation qui tiennent compte de l'apprentissage individuel dans un contexte social, et sur la façon d'expliquer les approches constructivistes (qui mettent l'accent à la fois sur le processus et le produit) aux parents et aux administrateurs. Le texte conclut qu'alors que le constructivisme n'a pas encore révolutionné l'éducation musicale, il offre un espoir pour l'avenir. Il est probable que de nombreux enseignants utilisent des idées constructivistes sans se référer explicitement à la théorie. Cela pourrait inclure l'enseignement de l'écoute musicale, de l'improvisation ou de la performance par le biais de l'apprentissage collaboratif, de l'évaluation par portfolio ou en mettant l'accent sur « l'apprentissage par la pratique ».

Shively [716] soutient que le constructivisme peut être appliqué aux ensembles musicaux, même si ceux-ci impliquent traditionnellement un chef d'orchestre à leur tête. En offrant aux élèves des occasions de prendre des décisions musicales et de participer aux discussions, les ensembles peuvent devenir plus attrayants et favoriser une compréhension musicale plus profonde. Son article reconnaît les défis de la mise en œuvre du constructivisme, tels que la nécessité de former les enseignants et de surmonter la résistance des écoles attachées aux attentes traditionnelles. L'article de Shively plaide pour aller au-delà du débat traditionnel vs. progressiste en éducation musicale. Ces étiquettes sont trop simplistes et ne reflètent pas la complexité des pratiques d'enseignement. Les approches traditionnelles ont des points forts mais aussi des limites qui doivent être prises en compte. Plutôt que de rejeter entièrement la tradition, nous devrions nous concentrer sur son amélioration. Dans le même temps, le domaine devrait être ouvert à l'intégration de nouvelles méthodes prometteuses. En fin de compte, l'objectif est de répondre aux besoins des élèves, et pas seulement de préserver les programmes existants. En adoptant une position constructiviste dans les classes de musique, les enseignants ouvrent la porte à une multitude de possibilités pour inviter les élèves à les rejoindre dans l'exploration des musiques et des manières d'être musicales. Ce faisant, les enseignants savent qu'ils



joueront tous des rôles différents en fonction des attentes de l'environnement d'apprentissage.

### **Le cognitivisme**

Les théories cognitivistes de l'apprentissage ont émergé en réponse aux limites des théories béhavioristes pour expliquer les complexités du processus d'apprentissage. Les premières recherches de Tolman, Kohler et Krechevsky dans les années 1920 et 30 ont jeté les bases de l'exploration cognitiviste. Bien qu'ayant attiré l'attention dans les années 1950, la définition du cognitivisme a évolué au fil du temps. Initialement axée sur l'acquisition active des connaissances, elle s'est élargie pour aborder la manière dont l'information est traitée dans l'esprit. Les premiers modèles tels que le modèle de mémoire à deux étages (la mémoire de travail et la mémoire à long terme), bien que considérés comme simplistes, ont fourni un point de départ pour comprendre les théories cognitives de l'apprentissage. Le domaine a vu émerger diverses théories, sans qu'il existe de modèle ou de théorie cognitive universellement accepté par tous les scientifiques cognitifs [633].

La théorie de l'apprentissage cognitiviste se concentre sur la manière dont l'esprit humain traite, organise, stocke et récupère l'information, considérant l'esprit comme un processeur d'informations similaire à un ordinateur. Contrairement au comportement observable, le cognitivisme considère l'apprentissage comme un processus mental interne. Dans les environnements éducatifs, le cognitivisme crée des environnements d'apprentissage propices grâce à des activités mentales interactives qui stimulent les capacités de réflexion des étudiants. Par exemple, poser des questions stimulantes encourage les apprenants à aller au-delà de leurs connaissances existantes. Les cognitivistes affirment que l'apprentissage est enraciné dans la réflexion et les expériences, permettant des changements comportementaux basés sur de nouvelles informations. La connaissance est perçue comme un processus interne, et les théories cognitives de l'apprentissage mettent en avant l'engagement actif des apprenants dans des activités de résolution de problèmes. Ces théories préconisent un apprentissage actif, où les étudiants appliquent leurs propres compétences de réflexion plutôt

que de mémoriser passivement des informations [240].

Selon la théorie de l'apprentissage cognitiviste, l'apprenant participe activement au processus d'apprentissage. Les connaissances sont intégrées et traitées par des structures mentales codant l'information et la reliant aux connaissances existantes pour former des « schémas » stockés dans la mémoire à long terme. Récupérer ces informations permet leur application à des situations nouvelles. Similaire au constructivisme, le cognitivisme utilise l'échafaudage, où les instructeurs fournissent des conseils, favorisant le développement des compétences dans un environnement actif centré sur l'apprenant. L'accent est mis sur la structuration, l'organisation et la séquence des informations pour faciliter le traitement cognitif et créer des liens significatifs avec les connaissances pré-existantes. Les méthodes d'enseignement cognitives privilégient le processus d'apprentissage par rapport aux résultats tels que les notes aux examens. Selon le cognitivisme, l'éducation vise à enseigner aux individus comment apprendre, en transmettant des compétences de réflexion critique et de résolution de problèmes, plutôt que de simplement mémoriser des faits. L'enseignant agit en tant que « facilitateur », guidant les étudiants vers l'apprentissage par « découverte ». [240].

Malgré ses similitudes, le constructivisme et le cognitivisme se distinguent par des principes distinctifs. Les deux approches partagent un terrain commun à faveur de l'apprentissage actif, en privilégiant la compréhension par rapport à la mémorisation, et en étant applicables en cours. Cependant, elles divergent dans leurs opinions sur la nature du processus d'apprentissage, le constructivisme mettant en avant des expériences centrées sur l'élève, tandis que les sciences cognitives explorent les mécanismes cognitifs sous-jacents à la cognition. Le constructivisme peut être confronté à des défis pour mesurer l'efficacité pédagogique, en particulier pour des concepts abstraits, tandis que les sciences cognitives, enracinées dans la recherche empirique, visent à comprendre les processus cognitifs pour une conception pédagogique plus efficace. Chaque approche a ses forces ; le constructivisme excelle dans l'enseignement de concepts complexes, tandis que les sciences cognitives offrent des éclairages sur l'apprentissage d'informations concrètes. Une compréhension équilibrée et intégrée des deux perspectives offre une approche holistique de la pédagogie, reconnaissant

les nuances contextuelles du contenu et des objectifs d'apprentissage [366].

La théorie cognitiviste appuie sa pédagogie par l'étude des processus cognitifs liés au modèle de mémoire à deux étages, englobant la perception, les processus exécutifs, la mémoire de travail, l'encodage et la mémoire à long terme. La perception, première étape de la réception de l'information, implique une entrée sensorielle telle que le son, l'odeur, le toucher, le goût ou la vue. Les systèmes sensoriels interprètent et attribuent un sens à cette entrée en fonction du contexte et des schémas connus. L'information est ensuite transférée à la mémoire à court terme ou à la mémoire de travail. Les processus exécutifs, responsables de la régulation du flux d'informations, comprennent des efforts conscients pour gérer de nouvelles informations, diriger l'attention, planifier et récupérer des informations de la mémoire à long terme. Ces processus influencent tous les aspects du modèle à deux étages et sont essentiels pour surveiller la compréhension, sélectionner des stratégies d'apprentissage et réguler la motivation [530]. La récupération fréquente par le biais de la révision renforce la capacité à accéder à l'information à l'avenir, soulignant l'importance de connexions significatives et d'un encodage organisé pour un apprentissage efficace.

**Dans l'éducation musicale** L'application des théories cognitives à l'étude de la manière dont les gens apprennent la musique a principalement impliqué l'utilisation des principes de la psychologie de la Gestalt pour comprendre comment les informations musicales sont traitées [816]. Des concepts tels que la similitude, la proximité et la clôture ont été utilisés pour expliquer la perception et la cognition musicales. De plus, Lehrdahl et Jackendoff [468] ont développé une théorie de la grammaire musicale basée sur les théories linguistiques de Chomsky, suggérant que l'exposition à la musique peut conduire à la compréhension grâce à l'immersion culturelle plutôt qu'à une instruction formelle.

La recherche sur la manière dont les enfants se développent musicalement a été un axe majeur depuis les années 1960. Divers chercheurs ont passé en revue ces efforts, notant l'influence de la théorie de Piaget sur des domaines tels que les stades de développement, la fonction symbolique à travers le langage et l'art, et le concept de conservation, où les enfants apprennent que les propriétés des objets peuvent rester constantes malgré les changements.

Swanwick et Tillman [757] ont proposé un modèle de développement musical créatif influencé par Piaget et Bruner. Leur modèle décrit quatre stades : maîtrise (0-4 ans), imitation (4-9 ans), jeu imaginatif (10-15 ans) et métacognition (15 ans et plus), reflétant comment les enfants s'engagent progressivement avec et comprennent la musique.

La recherche sur l'apprentissage moteur de la musique s'est appuyée sur quatre théories [272] : la théorie de la boucle fermée, la théorie de la boucle ouverte ou du programme moteur, la théorie du schéma (connaissances mentales) et l'approche de Bernstein. Ross [672] et Coffman [153] ont mené des études majeures sur la pratique mentale dans l'apprentissage de la musique, offrant des analyses précieux sur l'effet combiné de la pratique mentale et physique. DeLorenzo [190] a examiné la pensée créative en musique sous l'angle de la résolution de problèmes, fournissant un aperçu complet des études cognitives connexes sur la créativité musicale.

Initialement, la théorie de l'information appliquée à la musique a été exposée par Abraham Moles et a servi de fondement à la théorie de la compréhension musicale de Leonard B. Meyer. L'application de la théorie de l'information à la recherche en éducation musicale a été discutée par Krumhansl [444] dans le contexte du développement d'un modèle hiérarchique de la cognition musicale. Ces efforts ont été passés en revue par Coffman [153] dans une étude mesurant l'originalité et la créativité musicales. La théorie du traitement de l'information a également été soutenue par Williams et Peckham [840], qui ont développé un modèle de traitement de l'information musicale basé sur le travail d'Atkinson et Shiffrin [33] de 1968 dans le traitement verbal-auditif et le développement conceptuel. La recherche en modélisation de la cognition musicale est devenu un vaste domaine avec le développement de la recherche en neurosciences et le développement de l'informatique [670]. De etrouvé un Tallarico (1974) a décrit un concept en trois phases de la mémoire et comment il pourrait être mis en œuvre dans l'étude de la cognition musicale. Dans sa discussion, il s'est appuyé sur une large gamme de sources en traitement de l'information, y compris les écrits de Norman, Rumelhart et al. (1986), et Hebb (1949). Cutietta et Booth (1996) ont fourni un aperçu de la recherche liée à la catégorisation de l'information musicale en mémoire, avec l'idée de *chunking* de Miller (1956)

fréquemment mentionnée dans la recherche en cognition musicale. Deutsch (1999) a présenté l'une des discussions les plus exhaustives sur le traitement et la mémoire de la musique à ce jour.

En 2022, Vuust et ses collègues [812] ont publié une revue examinant la recherche en neurosciences cognitives sur la perception de la musique. Ils ont démontré que la perception musicale, l'action, l'émotion et l'apprentissage reposent tous sur la capacité du cerveau à prédire, comme le décrit le modèle de codage prédictif de la musique. Ils ont exploré comment ce modèle peut être appliqué pour comprendre la dynamique et les mécanismes cérébraux impliqués dans la création musicale collective. Ces connaissances ont des implications pour la créativité humaine, en particulier dans l'improvisation musicale, et offrent de nouvelles perspectives sur les bases neuroscientifiques du sens de la musique.

### **La théorie sociale cognitive**

La théorie sociale cognitive, également connue sous le nom de théorie sociocognitive, postule que l'acquisition des connaissances d'un individu est en partie liée à son observation des interactions sociales, des expériences et au-delà de l'influence des médias. Cette théorie a été développée par le psychologue canadien Albert Bandura, qui avait acquis une reconnaissance étendue grâce à ses expériences sur la poupée Bobo dans les années 1960, remettant en question la croyance prédominante en la récompense comme seul moteur de l'apprentissage. Dans ces expériences, les enfants exposés à des modèles exhibant un comportement soit violent, soit non violent envers la poupée Bobo gonflable reproduisaient le comportement observé. La Théorie de l'Apprentissage Social de Bandura a émergé de cela, mettant l'accent sur ce que les individus apprennent par l'observation et l'interaction avec les autres. Positionnée comme un pont entre les théories béhavioristes et cognitives, elle intègre l'attention, la mémoire et la motivation. Au fil du temps, Bandura a élargi sa théorie, conduisant au changement de nom de la théorie de l'apprentissage social en théorie cognitive sociale en 1986 [50]. Cette dernière postule que l'apprentissage est un processus dynamique et réciproque au sein d'un contexte social, impliquant l'interaction de la personne, de l'environnement et du comportement.

Le travail influent de Bandura, y compris les expériences sur la poupée Bobo, a démontré l'efficacité du modèle social dans l'apprentissage de comportements nouveaux. Le concept de déterminisme réciproque souligne que le comportement, les facteurs personnels et les facteurs environnementaux s'influencent mutuellement de manière complexe. Bandura a mis en avant la corrélation entre l'auto-efficacité perçue et le changement de comportement, identifiant des sources telles que les accomplissements, l'expérience par procuration, la persuasion verbale et les états physiologiques. L'apprentissage social, souvent appelé apprentissage par l'observation, découle de l'observation de modèles, reflétant l'accent initial de Bandura sur les aspects sociaux de l'apprentissage et les influences interconnectées du comportement, des facteurs personnels et des facteurs environnementaux [31].

Dans son livre de 1986, Bandura a soutenu que le comportement humain est influencé par des facteurs personnels, comportementaux et environnementaux. Selon la Théorie Sociale Cognitive, l'acquisition de connaissances par les individus est directement liée à l'observation d'autres personnes dans le cadre d'interactions sociales, d'expériences et d'influences médiatiques externes. La théorie postule que lorsque les gens observent un modèle exécutant un comportement et en subissant les conséquences, ils mémorisent la séquence d'événements et utilisent ces informations pour guider leurs comportements ultérieurs. Observer un modèle peut également inciter les individus à adopter des comportements qu'ils ont déjà appris. Fondamentalement, l'acquisition de nouveaux comportements ne dépend pas uniquement des essais personnels et des erreurs, mais plutôt, sur la reproduction des actions des autres. La décision de reproduire un comportement observé est influencée par le fait que les individus sont récompensés ou punis pour leurs actions et par les résultats du comportement [50].

Les individus diffèrent dans le degré auquel ils peuvent être influencés par des modèles, et tous les modèles ne sont pas également efficaces. Selon Bandura, trois facteurs sont les plus influents en termes d'efficacité des situations de modélisation : les caractéristiques du modèle, les attributs des observateurs et les conséquences des actions du modèle. Les caractéristiques les plus pertinentes d'un modèle influent sont son statut élevé, sa compétence et son pouvoir. Lorsque

les observateurs sont incertains à propos d'une situation, ils se fient à des indices indiquant ce qu'ils perçoivent comme des preuves du succès passé du modèle. De tels indices comprennent l'apparence générale, les symboles de réussite socio-économique et les signes d'expertise. Comme ces modèles semblent avoir eux-mêmes réussi, il semble logique que les observateurs veuillent imiter leur comportement. Les personnes ayant une faible estime de soi, une dépendance ou un manque de confiance ne sont pas nécessairement plus susceptibles d'être influencées par des modèles. Bandura a proposé que ceux qui bénéficient le plus de la modélisation pour développer de nouvelles compétences sont ceux qui ont plus de talent et une plus grande propension à prendre des risques [50].

Selon la théorie, il existe quatre composantes importantes de l'apprentissage : l'attention, la rétention, la production et la motivation. L'attention consiste à se concentrer sélectivement sur des comportements spécifiques en fonction de l'accessibilité, de la pertinence, de la complexité et des attributs personnels de l'observateur. La rétention implique de convertir un comportement observé en symboles pour une reproduction future, avec un renforcement positif suivant les comportements positifs et un renforcement négatif suivant les comportements négatifs. La production consiste à reproduire les comportements observés dans des contextes appropriés, avec des retours permettant des ajustements dans les reproductions futures. La motivation est stimulée par les réponses et les conséquences rencontrées lors de la reproduction des comportements [50].

Une idée fausse répandue concernant le modèle est qu'il conduit uniquement à l'apprentissage des comportements qui ont été modélisés. Cependant, le modèle peut conduire à des schémas de comportement innovants. Les observateurs voient généralement un comportement donné réalisé par plusieurs modèles ; même dans la petite enfance, on a souvent l'occasion de voir les deux parents modéliser un comportement donné. Lorsque le comportement est ensuite adapté, l'observateur choisira généralement des éléments des différents modèles, en se basant uniquement sur certains aspects du comportement de chacun, puis créera un schéma unique qui permettra de réaliser le comportement final. Ainsi, les écarts partiels par rapport au comportement initialement modélisé peuvent être une source de nouvelles directions, notamment dans les entreprises créatives (comme la composition musicale ou la création de sculptures). En revanche,

lorsque des routines simples s'avèrent utiles, le modèle peut en fait étouffer l'innovation. Par conséquent, les individus les plus innovants semblent être ceux qui ont été exposés à des modèles innovants, à condition que ces modèles ne présentent pas de défis excessivement difficiles pour modéliser leur créativité et leur innovation [51].

**Dans l'éducation musicale** Depuis plus de vingt ans, les chercheurs en éducation musicale étudient l'auto-efficacité, notamment depuis la publication de deux études qui ont mis en évidence le rôle significatif des croyances en l'auto-efficacité dans la performance musicale (McCormick et McPherson, 2003 [531]; et McPherson et McCormick, 2006 [538]). Ces études ont souligné l'importance pour les enseignants de prendre en compte les perceptions de leurs élèves concernant leur propre compétence, car des preuves suggèrent que ces perceptions prédisent de manière fiable leur motivation et leurs choix futurs en ce qui concerne leur engagement à poursuivre leur amélioration.

Dans un article sur les sources de la self-efficacité, Hendricks [341] analyse le concept de maîtrise active. Il explique comment les accomplissements passés, la difficulté d'une tâche et la façon dont on se remémore les expériences passées contribuent tous à l'auto-efficacité. Les élèves qui réussissent en musique sont plus susceptibles de persévérer face aux difficultés. Les professeurs de musique peuvent aider leurs élèves à développer leur auto-efficacité en leur offrant des occasions de maîtriser des défis croissants. Cela peut passer par l'encouragement à l'apprentissage autonome et par l'aide aux élèves dans la fixation d'objectifs réalisables afin de renforcer leur confiance et leur sentiment de contrôle sur leur développement musical. Concernant l'expérience vicariante en tant que source d'auto-efficacité, l'auteur affirme qu'observer d'autres réussir des tâches similaires peut renforcer la confiance d'un individu dans ses propres capacités. L'efficacité de cette méthode dépend de la similarité entre la personne observée et soi-même. Bien que moins puissantes que les expériences personnelles, les expériences vicariantes peuvent influencer quelqu'un à persévérer malgré les revers, particulièrement si le modèle observé est optimiste. Cependant, la comparaison sociale à travers l'expérience vicariante peut aussi être négative. Les environnements compétitifs ne conviennent pas nécessairement à tous les



étudiants, entraînant des comportements d'apprentissage réactifs et des effets négatifs sur l'auto-efficacité, en particulier chez les étudiantes en musique. Ainsi, les éducateurs devraient aborder les opportunités de modélisation par les pairs avec prudence pour favoriser des environnements d'apprentissage positifs. En ce qui concerne la persuasion verbale, Hendrics affirme que bien que les enseignants utilisent souvent des éloges verbaux, la recherche suggère que ce n'est pas aussi efficace que certains pourraient le penser. Les compliments vides ou les éloges axés sur le talent inné peuvent créer des attentes irréalistes et entraver la motivation. Les éducateurs musicaux, en particulier, doivent être attentifs à leurs retours. Les études montrent que les enseignants experts fournissent des retours fréquents et spécifiques, à la fois positifs et négatifs, pour aider les élèves à comprendre leur progression. Les éloges génériques peuvent ne pas être aussi utiles que des retours clairs, même s'ils sont critiques. Une persuasion verbale efficace devrait se concentrer sur l'effort et le progrès, pas seulement sur l'aptitude. Dans l'ensemble, offrir aux élèves des opportunités de défis progressifs est une manière plus puissante de développer l'auto-efficacité que de simplement offrir des éloges verbaux. En ce qui concerne les états physiques et émotionnels, le chercheur exprime que se sentir fort, détendu et énergique peut renforcer l'auto-efficacité, tandis que la fatigue, le stress ou la dépression peuvent avoir l'effet inverse. Cela est particulièrement vrai pour les tâches physiquement exigeantes telles que les performances musicales. L'anxiété de performance est un défi courant pour les musiciens, et les auditions peuvent être particulièrement stressantes en raison de la pression et de la comparaison sociale impliquées. Le perfectionnisme, en particulier le perfectionnisme imposé de l'extérieur, peut aggraver l'anxiété de performance. La bonne nouvelle est que l'auto-efficacité peut être développée pour réduire l'anxiété. Les professeurs de musique peuvent aider les élèves à remettre en question les auto-perceptions négatives et à fixer des objectifs réalisables. En encourageant les compétences d'auto-régulation, d'auto-évaluation et de gestion du temps, les enseignants peuvent également équiper les élèves pour gérer les anxiétés et les frustrations qui pourraient sinon entraver leur progression. En fin de compte, les enseignants qui croient en leurs élèves et leur fournissent des défis appropriés peuvent jouer un rôle significatif dans le renforcement de leur auto-efficacité.

En 2010, Zelenak a créé une échelle pour mesurer l'auto-efficacité dans la performance musicale chez les élèves du secondaire [873]. L'échelle de l'auto-efficacité en performance musicale (*Music Performance Self-Efficacy Scale* ou MPSES) a été développée en se basant sur les quatre sources d'auto-efficacité de Bandura : les expériences de maîtrise, les expériences vicariantes, la persuasion verbale/sociale et l'état physiologique. L'étude a impliqué 293 participants d'un collège du sud-est des États-Unis. Les résultats ont indiqué que les scores de MPSES étaient internalement cohérents et montraient des relations solides entre les sources et le construit global. L'analyse factorielle confirmatoire a soutenu l'alignement des données avec le modèle d'auto-efficacité de Bandura. De plus, des différences significatives ont été trouvées entre les élèves de musique et les non-musiciens en termes de sources d'auto-efficacité, et il y avait une corrélation positive entre les évaluations des enseignants sur l'auto-efficacité des élèves et les scores de MPSES.

### **Le connectivisme**

Le connectivisme est une théorie moderne de l'apprentissage développée en réponse à la complexité du monde numérique. Il met l'accent sur l'importance de créer des liens entre les idées et les expériences, facilités par la technologie et les réseaux sociaux. Cette théorie a des applications diverses au 21<sup>e</sup> siècle, telles que les plateformes d'apprentissage en ligne et les modèles centrés sur l'étudiant comme la classe inversée. Ses implications pour l'éducation incluent la nécessité pour les éducateurs de s'adapter à l'évolution de la technologie et d'équiper les apprenants des compétences nécessaires pour naviguer dans un monde en constante évolution. Le connectivisme souligne le rôle des connexions et des réseaux dans l'apprentissage, offrant une approche prometteuse pour relever les défis éducatifs contemporains [15].

La théorie de l'apprentissage connectiviste, émergent au début des années 2000, repose sur l'idée que l'apprentissage est un processus continu facilité par les connexions entre les personnes, l'information et la technologie. Des contributeurs notables incluent George Siemens, qui a introduit l'apprentissage connectiviste comme un changement par rapport aux modèles pédagogiques tra-

ditionnels, en mettant l'accent sur des approches flexibles et collaboratives. Des études menées par Kop et Hill, Siemens et Tittenberger, ainsi que par Mackness, Mak et Williams, ont exploré l'efficacité du connectivisme dans divers contextes, mettant en avant son rôle dans la promotion de l'apprentissage collaboratif, des compétences en réseautage et de l'autonomie des apprenants. Des chercheurs comme Kop, De Waard et al., et Downes ont également examiné les défis et les fondements théoriques de l'apprentissage connectiviste. De plus, des rapports de Hill et Wang et des études menées par Dron et Anderson, ainsi que par Kim et Bonk, ont confirmé l'efficacité du connectivisme dans l'amélioration de la motivation, de la pensée critique et de l'acquisition de connaissances, notamment dans des domaines complexes. Dans l'ensemble, ces études soulignent l'efficacité du connectivisme dans la promotion de l'apprentissage collaboratif, des compétences en réseautage et de l'apprentissage autodirigé, des éléments cruciaux dans l'éducation et le monde du travail modernes [15].

Le connectivisme repose sur l'idée que l'apprentissage est un processus continu qui se produit à travers les connexions entre les personnes, l'information et la technologie. Selon George Siemens, l'apprentissage connectiviste représente un nouveau modèle d'apprentissage adapté à la société de la connaissance, dans laquelle « l'apprentissage est un processus de connexion entre des nœuds spécialisés ou des sources d'information ». Le connectivisme suppose que la connaissance est distribuée à travers un réseau de connexions et que l'apprentissage consiste à construire et à traverser ces nœuds connectés en réseaux. Cette approche met l'accent sur l'importance des connexions et des réseaux dans l'apprentissage, ainsi que sur la capacité à voir les liens entre les domaines, les idées et les concepts. Les principes du connectivisme reposent sur la diversité des opinions, la capacité à savoir plus que ce qui est actuellement connu, et la nécessité de maintenir des connexions pour faciliter un apprentissage continu. Le MOOC (*Massive Open Online Course*) est un exemple d'application du connectivisme, impliquant une participation interactive et une collaboration entre les participants sur un réseau spécifique. Le connectivisme remet en question le rôle traditionnel du professeur, mettant l'accent sur les participants individuels, les réseaux et les flux d'information entre les nœuds du réseau pour générer de nouvelles formes de connaissance. Bien que critiqué, le connectivisme repré-

sente une tentative théorique de réexaminer radicalement les implications de l'internet et des nouvelles technologies de communication sur l'apprentissage. [346].

**Dans l'éducation musicale** En 2008, Miikka Salavuo [681] a publié un article influent dans lequel il proposait l'utilisation des médias sociaux comme moyen d'améliorer l'engagement actif dans l'éducation musicale. Il a affirmé que tandis que les universités se reposent souvent sur les systèmes de gestion de l'apprentissage, ces outils favorisent souvent une approche unidirectionnelle et centrée sur l'enseignant. Cependant, les plateformes de médias sociaux conviennent parfaitement aux étudiants en musique, qui les utilisent pour se connecter, partager de la musique et apprendre les uns des autres. Ces plateformes offrent une opportunité de transformer l'éducation musicale vers un modèle centré sur l'élève. En favorisant les communautés en ligne, les médias sociaux peuvent permettre aux étudiants de prendre en charge leur apprentissage et de participer à un environnement d'apprentissage collaboratif. Selon Salavuo, les gens rejoignent souvent des chorales ou des orchestres pour des raisons sociales. Ces groupes, ainsi que les groupes de musique « de garage » et les communautés en ligne, fonctionnent comme des communautés de pratique. Au sein de ces communautés, les membres partagent des intérêts et des objectifs similaires, et apprennent les uns des autres par le biais d'activités telles que jouer ensemble, discuter de musique et donner leur avis. L'expérience sociale et le sentiment d'accomplissement au sein d'un groupe peuvent motiver les individus à améliorer leurs compétences musicales. L'environnement social et culturel joue un rôle crucial dans la stimulation de la créativité. Le sentiment d'appartenance à une communauté peut encourager l'apprentissage informel et la création musicale. De nouvelles perspectives sur l'apprentissage soulignent l'importance de la connexion et des compétences métacognitives pour l'apprentissage tout au long de la vie. Internet permet aux musiciens de partager leur travail avec d'autres en ligne, favorisant des liens durables et des communautés qui soutiennent l'apprentissage continu et la création musicale. Cette approche collaborative et en réseau de l'apprentissage contraste avec les modèles d'éducation traditionnels centrés sur l'enseignant.

En 2023, Li [474] a réalisé une revue du connectivisme en tant que cadre pour l'apprentissage informel en éducation musicale. Sa recherche explore comment les médias sociaux peuvent être utilisés pour créer des opportunités d'apprentissage informel liées à la musique par la création de réseaux de connaissances. Les médias sociaux peuvent promouvoir la collaboration, la communication et l'apprentissage personnalisé, mais présentent également des défis tels que les préoccupations liées à la vie privée et l'accès inégal. L'étude suggère que les éducateurs peuvent utiliser le connectivisme pour créer des environnements d'apprentissage en ligne favorables. Cette approche peut bénéficier à la fois aux éducateurs et aux apprenants en fournissant un accès à des ressources diverses, en favorisant la collaboration et en améliorant finalement l'éducation musicale.

### **L'andragogie**

Le terme « andragogie » a été introduit pour la première fois par Alexander Kapp en 1833 dans son livre « Les Idées Éducatives de Platon ». Kapp a souligné la nécessité de l'apprentissage tout au long de la vie, en mettant particulièrement l'accent sur l'éducation à l'âge adulte, qu'il a qualifiée d'Andragogie ou d'Éducation à l'âge adulte. Il a mis en avant l'importance de l'éducation, de l'auto-réflexion et du développement du caractère dans la vie humaine. Kapp a identifié des schémas dans l'andragogie, notamment l'éducation de la personnalité intérieure (« le caractère ») et des compétences extérieures, ainsi que la reconnaissance que l'apprentissage se produit par l'auto-réflexion et l'expérience de vie, pas seulement par l'enseignement. Bien que le terme « andragogie » soit resté dormant pendant plusieurs décennies, il a resurgi dans les années 1920 en Allemagne, Lindeman des États-Unis l'ayant ensuite introduit en Amérique. Lindeman préconisait la discussion comme la meilleure méthode pour enseigner aux adultes, la distinguant des méthodes traditionnelles utilisées pour enseigner aux enfants [343].

L'andragogie resurgit dans la littérature lorsque Simpson (1964) en Grande-Bretagne la proposa comme terme pour identifier un corpus de connaissances pertinentes pour la formation des adultes en éducation. Simpson suggéra quatre branches principales : les principes de l'éducation des adultes, la psychologie

adulte, la psychologie éducative des adultes et les méthodes andragogiques. Knowles (1970) développa davantage l'andragogie, l'enrichissant de ses propres idées issues d'une vaste expérience en éducation des adultes. Il mettait l'accent sur une approche axée sur le processus, soulignant des hypothèses sur les apprenants adultes : leur auto-direction, l'expérience comme ressource d'apprentissage, la focalisation sur les rôles sociaux, l'application immédiate de l'apprentissage, la motivation interne et le désir de raisons significatives pour apprendre. Knowles a élaboré un modèle de processus pour l'apprentissage des adultes, mettant en avant l'implication active, la planification coopérative, le diagnostic des besoins, la fixation d'objectifs, la conception des activités et l'évaluation des progrès. Ces idées ont posé des bases solides pour l'andragogie aux États-Unis, conduisant à son application dans la formation des adultes et le développement des ressources humaines [343].

Dans les années 1970, l'andragogie, ou l'éducation des adultes, est devenue essentielle au développement des ressources humaines. Furter (1971) en France et Knowles (1972) ont tous deux promu l'idée d'une science de la formation axée sur les adultes tout au long de leur vie. Knowles, en particulier, a souligné l'intérêt croissant des entreprises pour l'andragogie, affirmant qu'elle pouvait améliorer les relations interpersonnelles et l'efficacité des tâches. Ces idées ont révolutionné la façon dont les programmes de formation des ressources humaines étaient conçus et mis en œuvre dans de nombreux pays. Mezirow (1981) a développé une théorie critique de l'apprentissage et de l'éducation des adultes, définissant les concepts clés de l'apprentissage autodirigé. Suanmali (1981) s'est concentré sur les concepts de Mezirow, en soulignant l'importance de réduire la dépendance des apprenants et de favoriser les capacités d'apprentissage autodirigé.

- Principe 1 : Self-Concept Malcolm Knowles, dans son livre de 1975, *Self-Directed Learning : A Guide for Learners and Teachers* [432], décrit la maturation comme un phénomène « dans lequel les individus prennent l'initiative, avec ou sans l'aide des autres, pour diagnostiquer leurs besoins en apprentissage, formuler des objectifs d'apprentissage, identifier des ressources humaines et matérielles pour l'apprentissage, choisir et mettre en œuvre des stratégies d'apprentissage appropriées, et évaluer les

résultats de l'apprentissage ».

- Principe 2 : Expérience de l'apprenant adulte Les apprenants adultes ont un réservoir d'expériences de vie de plus en plus important qui joue un rôle crucial dans leur apprentissage. Contrairement aux enfants qui ont peu d'expérience et doivent se fier aux expériences des autres pour apprendre, les apprenants adultes peuvent utiliser leurs expériences uniques pour contribuer aux discussions de groupe et mieux comprendre un sujet.
- Principe 3 : Préparation à l'apprentissage Les adultes seront généralement plus intéressés à apprendre de vous si vous pouvez prouver que le sujet ou la compétence que vous enseignez aura un impact positif sur leur vie personnelle, professionnelle ou sociale.
- Principe 4 : Orientation vers l'apprentissage Alors que les enfants passent de l'apprentissage basé sur les matières à l'apprentissage basé sur les problèmes, les adultes se concentrent davantage sur la façon dont ils peuvent appliquer immédiatement leurs connaissances à des situations pratiques.
- Principe 5 : Motivation à apprendre La motivation des adultes pour l'apprentissage devient interne, avec des facteurs tels que l'auto-actualisation, une meilleure qualité de vie et l'estime de soi.
- Principe 6 : Apprentissage actif Knowles a proposé que les conférences ne sont pas le meilleur moyen d'enseigner aux adultes en raison de leur nature passive, de leur déconnexion de la pratique réelle des apprenants, et de l'effort que les apprenants doivent fournir pour maintenir leur attention. Au lieu de cela, les éducateurs devraient inclure des stratégies dans leurs conférences pour les rendre plus efficaces.

**Dans l'éducation musicale** Daniel Walzer [815] a réalisé une étude sur la façon dont les professeurs de technologie musicale appliquent les principes andragogiques lorsqu'ils enseignent à des adultes utilisant la technologie pour apprendre. Les méthodes andragogiques mettent l'accent sur le respect des expériences de vie des adultes et sur le développement d'une relation collaborative entre l'enseignant et l'étudiant. Les chercheurs ont mené une enquête modifiée appelée l'échelle des principes d'apprentissage des adultes (*Principles of Adult*

*Learning Scale* ou PALS) auprès de 53 éducateurs musicaux, les divisant en enseignement supérieur et autres groupes. Les résultats ont montré des différences significatives dans les approches des enseignants universitaires par rapport aux autres. De plus, les données de l'enquête suggéraient que lorsque les éducateurs en technologie musicale utilisent les principes andragogiques, les apprenants adultes ont tendance à utiliser davantage la technologie.

Un article d'Elizabeth Bucura [106] a analysé le rôle de l'autodétermination et de l'autodirection dans l'apprentissage de la musique, notamment dans les écoles secondaires et les universités. En considérant la pédagogie, l'andragogie et l'heutagogie comme un continuum vers l'apprentissage tout au long de la vie, l'auteur propose des stratégies d'apprentissage adaptées aux apprenants adolescents et adultes, visant à renforcer l'autonomie de l'apprenant et à conduire ultimement à un apprentissage autodirigé et heutagogique. Pour favoriser une transition de la pédagogie à l'heutagogie, les enseignants doivent maintenir une flexibilité dans leurs rôles, intégrant à la fois des principes pédagogiques et andragogiques tout en reconnaissant le potentiel d'une heutagogie ultérieure et en en reconnaissant la valeur. L'auteur s'abstient intentionnellement de prescrire des méthodes d'enseignement spécifiques, se concentrant plutôt sur des principes généraux adaptables à divers contextes d'enseignement et d'apprentissage de la musique, en accord avec les principes heutagogiques. Elle affirme que les méthodes d'enseignement traditionnelles dominent toujours l'éducation musicale, malgré les appels à de nouvelles approches. Alors que certains prônent l'autonomie des élèves et l'apprentissage autodirigé, ces idéaux sont lents à être adoptés. Les chercheurs réévaluent également le but de l'éducation musicale, en considérant l'engagement à vie et même le changement social comme des objectifs potentiels. Pour atteindre ces objectifs, les professeurs de musique doivent créer un espace pour l'apprentissage dirigé par les élèves et valoriser les expériences musicales existantes des élèves, à la fois à l'école et en dehors. Cela rejoint le concept d'heutagogie, qui met l'accent sur l'apprentissage autodirigé. En établissant des liens entre les expériences musicales à l'école et en dehors de l'école, les enseignants peuvent créer une approche plus pertinente et plus durable de l'éducation musicale.

Alexandra Lamont [460] a rédigé un article remettant en question les idées



reçues sur le développement musical, argumentant que le talent, la motivation et l'engagement continu ne sont pas des facteurs définitifs, et prônant une compréhension plus nuancée de l'apprentissage musical et de l'engagement tout au long de la vie. Le mythe du talent musical est répandu, mais la recherche suggère que l'aptitude musicale est universelle. Avec de la pratique et du soutien, n'importe qui peut développer ses compétences musicales. Cela est soutenu par le fait que de nombreux groupes musicaux pour adultes accueillent les débutants et mettent l'accent sur la participation plutôt que sur le talent. L'auteur affirme que la croyance en le talent musical peut avoir des conséquences négatives. Les personnes qui pensent ne pas avoir de talent peuvent éviter la musique totalement, même si elles ont la capacité d'apprendre. Les expériences négatives en éducation musicale, comme se faire dire qu'on ne sait pas chanter, peuvent également dissuader les gens de poursuivre la musique.

Lamont [460] suggère également que bien que l'influence parentale soit significative, certains adultes attribuent leur parcours musical à l'héritage familial et culturel. La motivation intrinsèque prend de l'importance dans les étapes ultérieures, facilitant l'engagement tout au long de la vie, comme le soutiennent les études sur les musiciens populaires. Les stratégies de gestion du stress et l'indépendance contribuent également à un engagement musical soutenu, distinguant les professionnels des apprenants informels. Les comparaisons entre les motivations de l'enfance et de l'âge adulte révèlent un passage de l'amour pour la musique à un accent mis sur les compétences techniques, aux côtés de facteurs sociaux et de professionnalisme. Malgré des parcours variés, il n'y a pas de progression définitive dans les types de motivation, mettant en évidence la diversité individuelle des récits musicaux et le rôle de l'opportunité dans le façonnement des schémas d'engagement musical. La base du succès en éducation musicale réside dans la fourniture de diverses opportunités répondant aux motivations et intérêts variés des enfants. Les expériences positives, facilitées par des figures de soutien comme les directeurs de musique ou les services de musique scolaire, jouent un rôle crucial dans le développement musical. Bien que l'accès aux opportunités soit vital, il peut parfois ne pas être suffisant, comme le regrettent certains adultes en évoquant des occasions manquées pendant l'enfance. Les initiatives gouvernementales, comme le programme Wider Opportunities au

Royaume-Uni, visent à combler ce fossé en offrant aux enfants des cours instrumentaux ou vocaux dès l'école primaire, favorisant un engagement précoce avec la musique. Malgré les variations dans la mise en œuvre, de tels programmes visent à stimuler et à encourager l'engagement musical tout au long de la vie, reflétant un effort concerté pour élargir l'accès à l'éducation musicale.

## 3.2 Les Piliers de l'apprentissage

Dans la section suivante nous allons explorer les piliers de l'apprentissage suivant le schéma proposé de Stanislas Dehaene. Nous allons faire le lien entre chaque piliers et l'apprentissage musical ou auditif. L'objectif de cette section est de comprendre les processus d'apprentissage selon l'état de l'art de la littérature actuelle dans ce sujet.

Stanislas Dehaene, docteur en psychologie cognitive, et professeur au Collège de France fait des recherches sur les bases cérébrales des opérations cognitives fondamentales telles que la lecture, le calcul, le raisonnement et la prise de conscience. Dans son ouvrage « Apprendre ! : Les talents du cerveau, le défi des machines » [184] il explore les bases neuronales de et les piliers de l'apprentissage.

Stanislas Dehaene explique que l'enfant possède naturellement une intuition profonde du nombre avant même d'apprendre formellement la numération. L'apprentissage de compter et de calculer consiste à utiliser ces circuits préexistants et à les adapter grâce à la plasticité cérébrale. Cette capacité de recyclage des circuits cérébraux innés reste mobilisable tout au long de la vie [184].

Selon Dehaene, le cerveau humain présente une organisation complexe et une plasticité remarquable dès la naissance. Les réseaux de neurones artificiels, malgré leurs avancées dans le *deep learning*, ne parviennent pas encore à rivaliser avec cette capacité d'apprentissage. L'intelligence artificielle nécessite encore d'énormes quantités de données pour apprendre et elle manque de capacités telles que l'abstraction, le raisonnement par inférences, ainsi que d'autres aspects caractéristiques de l'apprentissage humain, tels que l'attention partagée et la métacognition.

Dehaene met en évidence l'importance de la plasticité cérébrale dans l'ap-

apprentissage, mais souligne que celle-ci n'explique pas entièrement le succès de l'espèce humaine. En plus de la plasticité synaptique, l'homme possède quatre piliers de l'apprentissage : l'attention, l'engagement actif, le retour sur erreur et la consolidation. Ces fonctions, développées au cours de l'évolution, sont exploitées de manière plus efficace grâce au cerveau social et à la faculté de langage de l'homme. Les enseignants peuvent maximiser l'apprentissage en mobilisant ces quatre fonctions chez leurs élèves, ce qui nécessite une compréhension approfondie de leur fonctionnement. En maîtrisant ces piliers, chaque personne peut optimiser son propre apprentissage [185].

### 3.2.1 L'attention

L'attention est cruciale car elle permet au cerveau de sélectionner, amplifier, canaliser et approfondir les informations pertinentes parmi le flux constant de stimuli sensoriels. Cette capacité à filtrer les informations est essentielle car le cerveau est bombardé de stimulations, et il est impossible de traiter toutes les données simultanément en raison de contraintes énergétiques. Ainsi, les mécanismes attentionnels agissent comme un filtre, permettant au cerveau de décider quelles informations sont les plus importantes et méritent une allocation de ressources. En termes d'apprentissage, l'attention est fondamentale car elle permet de découvrir des régularités dans les données en filtrant les informations non pertinentes [184].

Lorsque nous prêtons attention à un objet, notre cerveau amplifie les signaux neuronaux liés à cet objet, ce qui favorise le changement de valeur des synapses et la consolidation de l'événement en mémoire à long terme [186]. Dehaene souligne également l'importance pour chaque individu d'apprendre à focaliser son attention, ainsi que le rôle crucial des enseignants pour capter et maintenir l'attention des élèves. Le chercheur Michael Posner [646] identifie trois grands systèmes attentionnels dans le cerveau : l'alerte, l'orientation de l'attention et le contrôle exécutif, qui coopèrent pour guider efficacement l'attention vers les informations pertinentes et faciliter le processus d'apprentissage.

### **L'alerte**

Le premier système attentionnel est responsable de nous indiquer quand faire attention. Ce système fonctionne comme un signal d'alerte qui mobilise tout l'organisme lorsque des circonstances le nécessitent, comme l'approche d'un prédateur ou l'expérience d'une émotion intense. Il implique une série de noyaux sous-corticaux qui augmentent immédiatement l'éveil et la vigilance du cortex en libérant des neuromodulateurs tels que la sérotonine, l'acétylcholine et la dopamine. Ces substances chimiques diffusent largement dans le cortex, modulant massivement son activité et son processus d'apprentissage [184].

Les signaux d'alerte peuvent radicalement altérer la plasticité des cartes corticales, même chez les animaux adultes. Des expériences ont montré que la stimulation artificielle des circuits sous-corticaux avec de la dopamine ou de l'acétylcholine peut induire des changements durables dans les cartes corticales, affectant la manière dont l'animal perçoit et traite les stimuli sensoriels [55]. Ces résultats suggèrent que les signaux d'alerte modulent l'activité des neurones inhibiteurs du cortex, réactivant ainsi la plasticité synaptique. Chez les humains, des situations stimulantes comme les jeux vidéo d'action peuvent mobiliser ces systèmes d'alerte et de motivation, entraînant une augmentation significative des capacités cognitives telles que la détection visuelle rapide et la prise de décision, sans augmentation des erreurs.

### **L'orientation**

Selon William James [387], ce système agit comme un filtre sélectif, permettant de diriger notre attention vers les informations jugées pertinentes ou intéressantes. L'orientation de l'attention peut se traduire par un mouvement de la tête et du regard, mais elle peut également s'appliquer à d'autres dimensions sensorielles telles que l'audition ou la perception. Lorsque nous prêtons attention à un stimulus, les neurones correspondants sont amplifiés, augmentant ainsi leur influence sur le reste du cerveau.

Cependant, cette attention sélective peut rendre aveugle à d'autres stimulations, comme l'illustre l'expérience du gorille invisible, où les sujets focalisés sur une tâche de comptage ne remarquent pas un gorille traversant la scène

[720]. L'expérience du gorille invisible consiste à demander aux participants de regarder une vidéo de joueurs de basket et de compter les passes entre les membres d'une équipe spécifique. Pendant cette vidéo, un acteur déguisé en gorille traverse la scène. Environ la moitié des participants ne remarquent pas le gorille, illustrant ainsi la cécité d'inattention, où les individus concentrés sur une tâche ne remarquent pas les stimuli inattendus. Un deuxième test, le test du singe invisible, montre que même ceux qui connaissent l'expérience initiale peuvent ne pas remarquer d'autres changements dans la vidéo. Cette expérience met en lumière les limites de notre attention et souligne que nous sommes souvent inconscients de notre propre inattention.

L'expérience du gorille invisible met en lumière l'importance cruciale de l'attention dans le processus d'apprentissage. Les enseignants et les parents sont souvent aveugles à cette réalité car ils oublient ce que signifie être ignorant. Si un enfant ne comprend pas où il doit diriger son attention, il ne peut pas apprendre. Une étude illustre cette idée en montrant que l'attention modifie radicalement l'activité cérébrale et donc la capacité d'apprentissage [862]. Dans cette expérience, deux groupes de sujets devaient apprendre un système d'écriture inhabituel. Un groupe devait faire attention à la forme globale des mots, tandis que l'autre devait se concentrer sur les lettres individuelles. Les résultats ont montré que le groupe focalisé sur les lettres réussissait beaucoup mieux à lire de nouveaux mots, car cette approche activait le circuit normal de la lecture. En revanche, le groupe focalisé sur la forme globale des mots avait des difficultés à apprendre, car cela bloquait l'apprentissage du code alphabétique et activait un circuit inapproprié. Ainsi, pour enseigner efficacement, il est essentiel de guider l'attention de l'élève vers les aspects pertinents de la matière à apprendre, car c'est ce sur quoi il concentrera ses ressources mentales pour un apprentissage optimal.

### **Le contrôle exécutif**

Le contrôle exécutif supervise la façon dont les informations sélectionnées sont traitées. Localisé principalement dans le cortex préfrontal, ce système permet de choisir un plan d'action, de le suivre et de surveiller son bon déroule-

ment. Il agit comme un aiguilleur du cerveau, guidant et dirigeant les opérations mentales pertinentes tout en inhibant les actions inappropriées. Le contrôle exécutif est étroitement lié à la mémoire de travail, qui stocke temporairement les éléments pertinents du programme en cours [187]. Contrairement à une croyance répandue, notre cerveau ne peut pas effectuer simultanément deux tâches complexes. Toute distraction ou tâche supplémentaire entraîne un ralentissement ou même l'échec d'une des tâches. Ainsi, l'apprentissage efficace nécessite une concentration exclusive sur une tâche à la fois. Les sciences cognitives confirment les observations faites dans les salles de classe, soulignant que trop de distractions peuvent entraver la concentration et compromettre les efforts d'apprentissage.

Les fonctions exécutives sont des processus cognitifs qui permettent aux individus de s'adapter à de nouvelles situations et de se comporter de manière optimale. Elles sont particulièrement activées lors de la planification future, du passage d'une tâche à une autre, ou de la résistance à la tentation. Ces fonctions sont supposées être soutenues par des structures dans les lobes frontaux du cerveau, bien qu'elles ne soient pas encore entièrement comprises. Les théories des fonctions exécutives distinguent généralement entre le traitement routine (automatique) et non-routine (contrôlé). Le traitement routine implique des opérations mentales bien répétées, tandis que le traitement non-routine se produit dans des situations où il n'y a pas d'association stimulus-réponse établie ou lorsqu'un impasse comportemental se produit. Les fonctions exécutives sont associées à des comportements et des capacités non-routiniers. À un niveau abstrait, la fonction exécutive implique des représentations flexibles des objectifs et des intentions, qui modulent les processus cognitifs de niveau inférieur impliqués dans l'analyse perceptuelle et la production motrice. Les fonctions exécutives permettent aux individus de répondre de manière adaptative aux situations changeantes ou nouvelles, plutôt que de se comporter de manière stéréotypée. Cette modulation des processus cognitifs selon des objectifs abstraits est connue sous le nom de contrôle descendant, bien qu'elle implique une interaction continue entre les processus de niveau supérieur et inférieur [295].

Le contrôle exécutif est une fonction cognitive qui se développe naturellement avec la maturation du cortex préfrontal. Cette fonction peut être améliorée

par l'entraînement et l'éducation, et son développement est crucial pour l'intelligence fluide, la capacité à raisonner et à résoudre des problèmes nouveaux. Des études ont montré que des activités variées, comme les jeux, la méditation, ou la pratique d'un instrument de musique, peuvent stimuler le contrôle exécutif. De plus, l'entraînement de la mémoire de travail et du contrôle exécutif peut légèrement augmenter l'intelligence fluide. L'intelligence est influencée par des facteurs génétiques et environnementaux, l'éducation jouant un rôle important. L'entraînement cognitif peut améliorer le contrôle exécutif et l'intelligence, mais des recherches sont encore nécessaires pour optimiser ces effets et les généraliser à d'autres tâches. Un exemple d'entraînement du contrôle exécutif sont les jeux conçus par Michael Posner [73], ou la méthode Montessori [555].

### **Le rôle de l'entourage sur l'attention**

Dehaene explore l'importance de l'attention sociale dans le processus d'apprentissage chez les êtres humains, mettant en évidence la manière dont nous apprenons en fonction des signaux sociaux de notre environnement [184]. Il souligne que dès le plus jeune âge, les enfants sont sensibles aux interactions sociales et prêtent une attention particulière aux regards et aux gestes des adultes. Ce phénomène, appelé attention partagée, est crucial pour l'acquisition de nouvelles informations. Les psychologues Gergely Csibra et György Gergely [175] affirment que l'apprentissage en société est une adaptation évolutive fondamentale chez l'homme, qui contribue à notre succès en tant qu'espèce. Cette capacité à partager l'attention et les connaissances favorise la culture collective et empêche la perte des découvertes importantes. De plus, le système attentionnel des enfants est influencé par les signaux émis par les adultes, ce qui modifie considérablement leur apprentissage. Par exemple, le contact visuel avec un adulte signale à l'enfant que l'information est importante et favorise sa rétention. Les enfants comprennent également les gestes sociaux, tels que le pointage du doigt, comme des tentatives de communication importante.

### 3.2.2 L'attention et la musique

Il y a une croissante quantité de littérature focalisé sur les liens entre l'attention et l'éducation et la pratique musicale. L'apprentissage de la musique est étudié dans le cadre de l'amélioration de l'attention et le contrôle exécutif [410, 693].

La musique occupe depuis longtemps une place importante dans l'éducation des enfants dans de nombreuses cultures. Certains chercheurs suggèrent même qu'elle pourrait les aider à développer leurs fonctions exécutives. Rodriguez et Talero [665] ont réalisé en 2022 une revue systématique d'études comparant des enfants ayant reçu une formation musicale à ceux qui n'en ont pas bénéficié. Ils se sont concentrés sur les études utilisant des tests pour mesurer les fonctions exécutives. Dans l'ensemble, ces études suggèrent que la formation musicale pourrait avoir des effets bénéfiques sur les fonctions exécutives, en particulier sur le contrôle inhibiteur. Des avantages ont également été observés dans d'autres domaines comme la mémoire de travail et la flexibilité cognitive, mais de manière moins évidente.

Une étude réalisée en 2015 par Wang [818] et ses collègues a révélé que si de nombreux aspects de la cognition ont été étudiés en relation à la formation musicale approfondie, peu de travaux ont examiné le lien entre la formation musicale et les capacités d'attention. Ils ont analysé les performances de musiciens expérimentés sur des tâches d'attention soutenue exigeantes sur le plan cognitif, mesurant la discrimination temporelle et visuelle sur une durée prolongée. Les participants ayant suivi une formation musicale formelle approfondie ont obtenu de meilleurs résultats dans une tâche de discrimination temporelle, mais pas dans une tâche de discrimination visuelle, par rapport aux participants n'ayant aucune formation musicale. De plus, aucune différence n'a été observée entre les groupes en termes de diminution de la vigilance dans l'un ou l'autre type de tâche. Bien qu'aucune différence n'ait été observée dans la vigilance en soi, les résultats indiquent que les performances dans une tâche de discrimination temporelle exigeante sur le plan de l'attention étaient supérieures chez les personnes ayant suivi une formation musicale approfondie. Les auteurs supposent que cette capacité cognitive de base pourrait contribuer aux avantages que les



musiciens présentent dans d'autres mesures cognitives.

Dans une autre approche, mais également en lien avec la discrimination temporelle, une étude de Roden menée en 2014 s'est intéressée aux effets de la formation musicale sur l'attention, la vitesse de traitement et les aptitudes musicales chez des jeunes enfants. Les chercheurs ont comparé un groupe d'enfants ayant suivi une formation musicale pendant 18 mois à un groupe ayant reçu une formation en sciences naturelles pendant la même période. Ils ont mesuré la vitesse de traitement, l'attention visuelle et les aptitudes musicales des enfants au début, au milieu et à la fin de l'étude. Les deux groupes ont commencé à un niveau similaire dans tous les domaines au départ. Le groupe de formation musicale a montré une amélioration de la vitesse de traitement et des aptitudes musicales au fil du temps, en particulier son sens du rythme.

Une étude menée par Grinspun [314] en 2020 s'est penchée sur le lien entre la capacité des enfants à imaginer de la musique dans leur tête (l'imagerie musicale ou *audiation* en anglais) et leurs fonctions exécutives. Les chercheurs voulaient savoir s'il existait un lien entre les performances des enfants aux tests mesurant l'imagerie musicale et leurs performances aux tests mesurant l'attention et la capacité à contrôler les distractions (leur contrôle inhibiteur). L'étude a porté sur un groupe d'élèves de deuxième année de deux écoles, l'une en Belgique et l'autre au Chili. On a fait passer aux enfants des tests pour mesurer à la fois leur aptitude musicale et imagerie musicale et leurs capacités d'attention et de contrôle. Les résultats ont montré que les enfants ayant obtenu des scores plus élevés au test d'imagerie musicale obtenaient également des scores plus élevés aux tests d'attention et de contrôle. Ces résultats suggèrent que ces deux facultés humaines sont étroitement liées.

Dans une revue de la littérature réalisée en 2016, Benz et ses collègues ont analysé l'impact de la formation musicale sur les fonctions cognitives non musicales [72]. Ils ont conclu à l'existence d'un lien entre la formation musicale et l'amélioration des capacités cognitives, allant des fonctions exécutives à la créativité. Si certains bénéfices peuvent être spécifiques au domaine auditif, les études indiquent que l'expérience musicale peut améliorer des fonctions cognitives sans rapport avec les aptitudes musicales. Cependant, établir une relation de cause à effet entre ces bénéfices et l'expérience musicale n'est pas

simple, malgré les résultats prometteurs d'études longitudinales. Les effets d'attente et la sélection de groupes témoins appropriés constituent des défis pour une interprétation précise des résultats. Les traits de personnalité et les facteurs neurodéveloppementaux préexistants peuvent également influencer les effets observés. Des études longitudinales supplémentaires sont nécessaires pour aborder ces questions. De plus, la prise en compte systématique des différences individuelles pourrait fournir des informations précieuses, car l'impact de la formation musicale sur la cognition peut varier en fonction du niveau de performance initial de l'individu. Dans l'ensemble, leurs conclusions suggèrent que la formation musicale a le potentiel d'améliorer la cognition et pourrait offrir une méthode d'entraînement cognitif rentable et saine, même pour les personnes qui ne s'intéressent pas intrinsèquement à la musique. De plus, elle pourrait être particulièrement bénéfique pour atténuer le déclin cognitif lié à l'âge.

La partie du cerveau responsable de la concentration sur des sons spécifiques (attention auditive sélective) s'améliore à mesure que les humains grandissent et se développent. Cette amélioration semble être liée à un meilleur contrôle de notre attention et à la capacité d'ignorer les distractions. Des études menées auprès d'adultes suggèrent que la formation musicale peut influencer ce développement cérébral, en particulier dans les zones associées à la gestion de l'attention. Chez les adultes ayant reçu une formation musicale, la concentration sur des sons spécifiques a entraîné une réponse plus forte dans la région du cerveau responsable du contrôle de l'attention par rapport aux adultes n'ayant pas suivi de formation musicale. Une étude menée par Strait en 2015 [751] a cherché à savoir si ce bénéfice de la formation musicale apparaissait chez les enfants, dont les capacités d'attention et de contrôle sont encore en développement. Les chercheurs ont comparé l'activité cérébrale d'enfants ayant ou non reçu une formation musicale, dans trois groupes d'âge : les enfants d'âge préscolaire, les enfants d'âge scolaire et les jeunes adultes. Les résultats ont montré que la formation musicale faisait une différence chez les enfants d'âge scolaire et les jeunes adultes. Lorsqu'ils se concentraient sur des sons spécifiques, la région du cerveau responsable du contrôle de l'attention présentait une réponse plus forte que chez les enfants n'ayant pas suivi de formation musicale. Fait intéressant, aucune différence n'a été observée entre les groupes chez les enfants d'âge pré-

scolaire. Cela suggère que le bénéfice de la formation musicale sur cette réponse cérébrale spécifique pourrait apparaître à mesure que les enfants développent leurs capacités d'attention.

Duke et Davis Cash [218] ont mené une étude sur le lien entre l'attention et l'apprentissage de la musique. Pour examiner comment la performance des apprenants d'un passage simple au clavier pourrait être influencée en dirigeant leur attention vers différents aspects de leurs mouvements, 16 étudiants en musique ont été invités à jouer un bref passage au clavier dans chacune des quatre conditions de concentration, organisées selon un plan d'équilibrage, ce qui a donné un total de 64 sessions expérimentales. Pendant l'exécution du passage, les participants devaient se concentrer sur leurs doigts, les touches du piano, les marteaux du piano ou le son produit. Des données MIDI détaillées pour toutes les réponses ont été enregistrées numériquement à l'aide d'un logiciel spécifiquement développé pour cette expérience. Conformément aux résultats d'études sur d'autres compétences physiques, les résultats indiquent que la performance était la plus précise et transférable lorsque les participants se concentraient sur les résultats de leurs mouvements plutôt que sur les mouvements eux-mêmes. De plus, plus la focalisation de l'attention était éloignée, plus le contrôle moteur était précis.

### 3.2.3 L'engagement actif

Dehaene souligne également l'importance de l'engagement actif dans le processus d'apprentissage [184]. Il explique que l'organisme passif n'apprend que peu ou pas du tout. Pour apprendre efficacement, il faut refuser la passivité, s'engager activement, explorer et générer des hypothèses. Le cerveau doit former un modèle hypothétique du monde extérieur et le confronter à la réalité sensorielle pour apprendre. Cette démarche requiert une posture active, engagée et motivée. L'engagement actif ne se limite pas aux mouvements physiques, mais implique une activité mentale intense, comme reformuler les informations en mots ou en pensées significatives. L'auteur explique également que dans la plupart des cas, l'apprentissage nécessite une attention, un effort et une réflexion profonde, soulignant que sans cela, les leçons ne laissent que peu de traces dans le cerveau.

Un clair exemple de l'importance de l'engagement actif est l'étude de 1975 de Craik et Turving [169]. Dix expériences ont été menées pour étudier comment les gens traitent profondément l'information et comment cela affecte leur mémoire. Les chercheurs ont voulu tester une théorie proposée par Craik et Lockhart en 1972 [168], qui suggère que la force d'une trace mnésique dépend de la profondeur à laquelle l'information est traitée. Ils ont émis l'hypothèse que un traitement plus profond, impliquant une implication plus significative avec le matériel, conduirait à une meilleure rétention en mémoire. Pour tester cela, les participants devaient traiter des mots de différentes manières, comme répondre à des questions sur leur apparence, leur son ou leur sens. Par exemple, certaines questions portaient sur l'apparence physique du mot, tandis que d'autres portaient sur son sens ou sur la manière dont il se rapportait à d'autres mots. Après avoir traité les mots, les participants ont passé des tests surprises pour les rappeler ou les reconnaître. Les résultats ont montré que lorsque les participants s'engageaient dans un traitement plus profond, comme réfléchir au sens du mot ou à sa relation avec d'autres mots, ils se souvenaient de plus de mots par rapport à lorsqu'ils s'engageaient dans un traitement superficiel. De plus, les questions entraînant des réponses positives étaient associées à une meilleure rétention que les questions entraînant des réponses négatives, surtout aux niveaux de traitement les plus profonds. Cela suggère que la profondeur du traitement et le type de questions posées jouent un rôle significatif dans la rétention en mémoire.

L'étude de Craik et Turving a été confirmée et complétée par des études postérieures comme Zaromb et al. (2010) [867]. Dans cette étude, les chercheurs ont découvert que lorsque les sujets passaient du temps à réfléchir au sens des phrases avant de les comprendre, ils se souvenaient mieux des phrases par rapport à lorsque les phrases étaient présentées avec des indices ou lorsqu'elles étaient difficiles à comprendre. De plus, même lorsque les phrases étaient relativement faciles à comprendre, passer du temps à réfléchir à leur signification améliorait le rappel. Cela soutient l'idée que mettre des efforts pour comprendre le sens conduit à une meilleure rétention en mémoire, ce qui a été observé dans des études antérieures.

Ces deux exemples mettent en évidence l'importance du traitement actif et profond de l'information pour une meilleure rétention en mémoire et un ap-

prentissage efficace. Le simple fait de réfléchir plus profondément et activement sur un sujet, que ce soit en posant des questions complexes, en manipulant des objets ou en participant à des discussions, conduit à une mémorisation plus durable et à une meilleure compréhension.

Par opposition, les approches passives, comme les cours magistraux traditionnels, sont moins efficaces pour favoriser l'apprentissage. Dans une méta-analyse de 2014 [267], les chercheurs ont découvert que dans les cours de sciences et technologie de premier cycle, les méthodes d'apprentissage actives, où les étudiants s'impliquent davantage dans le processus d'apprentissage ont conduit à de meilleurs résultats aux examens par rapport aux cours traditionnels. En moyenne, les étudiants des classes avec des méthodes d'apprentissage actives ont obtenu environ 6% de mieux aux examens que ceux des classes avec des cours magistraux traditionnels. L'étude a également montré que l'apprentissage actif était efficace quelle que soit la taille de la classe, avec les effets les plus importants observés dans les classes plus petites. Les résultats suggèrent que les cours magistraux traditionnels pourraient ne pas être aussi efficaces que précédemment pensé, et que l'apprentissage actif devrait être privilégié dans les salles de classe régulières.

Pourtant, pour Dehaene cette idée est différente à la « pédagogie de la découverte ». Bien que l'idée que les enfants devraient découvrir par eux-mêmes soit séduisante, plusieurs études montrent que l'approche pédagogique, appelée « pédagogie de la découverte », est peu efficace si elle n'est pas accompagnée par un enseignant. Le concept remonte à des philosophes comme Jean-Jacques Rousseau et des pédagogues comme John Dewey ou Maria Montessori. Selon cette approche théorique, il est préférable de laisser les enfants explorer et construire leur propre savoir, même si cela prend du temps. Cependant, des études [428, 427] montrent que cette méthode n'est pas efficace. Par exemple, en lecture, les enfants ont du mal à comprendre la relation entre les lettres et les sons sans une explication claire. En mathématiques, ceux qui apprennent d'abord à résoudre un problème avec l'aide d'un enseignant réussissent mieux que ceux qui essaient de le découvrir seuls. En informatique, une approche d'enseignement explicite est plus efficace que de laisser les enfants explorer seuls. Ainsi, bien que l'idée de laisser les enfants découvrir par eux-mêmes soit attrayante, les études montrent

que l'enseignement explicite et guidé est souvent plus efficace.

L'instruction guidée implique que les enseignants fournissent des directives claires et un soutien aux élèves, ce qui est conforme au fonctionnement de notre cerveau et entraîne de meilleurs résultats d'apprentissage. Les recherches montrent de manière cohérente que l'instruction guidée est plus efficace et efficiente. Cependant, les méthodes non guidées peuvent bien fonctionner uniquement lorsque les élèves ont déjà un niveau élevé de connaissance sur un sujet. De plus, de nouvelles méthodes d'enseignement sont en cours de développement pour soutenir l'instruction guidée.

### **La curiosité**

La curiosité est un élément essentiel de l'engagement actif dans le processus d'apprentissage. Dès le plus jeune âge, les enfants sont animés par le désir de découvrir et d'apprendre. Ce trait n'est pas acquis par l'instruction, mais il est intrinsèquement lié à notre biologie. La curiosité agit comme une force motrice, similaire à d'autres instincts vitaux tels que la faim ou la soif, dans notre quête pour explorer et comprendre le monde qui nous entoure [100]. Elle est essentielle pour la survie, car elle nous pousse à acquérir de nouvelles informations et à maîtriser notre environnement.

La satisfaction de la curiosité déclenche la libération de dopamine dans notre cerveau, ce qui crée un sentiment de plaisir similaire à celui ressenti lors de la consommation de nourriture ou de la satisfaction de besoins physiologiques [418]. Chez les humains, cette récompense dopamine-générée est liée à la recherche de nouvelles connaissances, même dans des contextes intellectuels purs. Les études montrent que notre niveau de curiosité prédit notre capacité à apprendre et à mémoriser des informations.

Notre espèce se distingue par sa capacité d'apprentissage unique, qui s'est développée au fil de l'évolution. Nous sommes naturellement attirés par la connaissance et avons développé une curiosité épistémique, qui englobe un désir de savoir dans divers domaines [113]. Cette curiosité nous pousse à explorer non seulement notre environnement physique, mais aussi les concepts et les idées abstraites. En plus de son rôle dans l'apprentissage individuel, la curiosité

joue un rôle social. Nous partageons nos découvertes avec les autres et révisons nos croyances en fonction des nouvelles informations, souvent accompagnées d'émotions telles que le rire lorsque nos hypothèses sont remises en question.

La curiosité humaine a été étudiée par plusieurs psychologues dans le but de comprendre son fonctionnement [490]. Selon ces chercheurs, la curiosité est motivée par le désir de comprendre le monde et de combler les lacunes de connaissance. Elle se manifeste lorsque notre cerveau détecte un décalage entre ce que nous savons déjà et ce que nous pourrions savoir. Ce processus est similaire à un régulateur qui maintient une pression constante d'apprentissage. La curiosité suit une courbe en cloche, s'orientant vers les domaines nouveaux et accessibles, mais déclinant lorsque les défis deviennent trop simples ou trop complexes. Parfois, notre cerveau détourne notre curiosité lorsque le domaine devient trop difficile pour notre niveau d'apprentissage.

Chez les humains, dans le contexte de l'apprentissage, la métacognition est extrêmement importante car elle permet à l'apprenant de réguler son propre processus d'apprentissage. En comprenant leurs propres forces et faiblesses, les apprenants peuvent adopter des stratégies d'apprentissage plus efficaces et adaptatives. Ils peuvent identifier les domaines où ils ont besoin de plus de soutien, ajuster leurs approches d'étude en conséquence, et évaluer leur propre compréhension pour déterminer s'ils ont atteint leurs objectifs d'apprentissage [306].

La métacognition est la capacité de réfléchir sur ses propres processus cognitifs, c'est-à-dire de penser à la façon dont on pense. Cela inclut la prise de conscience de ses propres connaissances, de ses capacités, de ses lacunes, ainsi que la capacité de planifier, de surveiller et d'évaluer ses propres performances cognitives. En d'autres termes, c'est la cognition sur la cognition. La métacognition favorise également la réflexion critique et la résolution de problèmes. En examinant leurs propres pensées et processus de résolution de problèmes, les apprenants peuvent prendre du recul pour évaluer les stratégies qu'ils utilisent et déterminer si celles-ci sont efficaces. Cela les aide à développer des compétences d'auto-correction et d'auto-régulation, ce qui est essentiel pour une réussite académique et une adaptation dans des contextes d'apprentissage variés [223].

Plusieurs enfants subissent un déclin de leur curiosité à mesure qu'ils vieillissent.

Ce phénomène pourrait être lié au système scolaire [318]. D'abord, le manque de stimulation adéquate peut éroder la curiosité, tant chez les enfants avancés qui trouvent les activités scolaires ennuyeuses que chez ceux en difficulté qui perdent confiance en leurs capacités. Ainsi, pour entretenir la curiosité, l'éducation doit fournir des défis adaptés à chaque niveau de compétence. Ensuite, les jugements métacognitifs négatifs, tels que le sentiment d'incapacité à apprendre, peuvent également inhiber la curiosité [135]. Dans ce cas, restaurer la confiance en offrant des tâches appropriées peut raviver l'envie d'apprendre. De manière similaire, l'approche traditionnelle de l'enseignement, axée sur le cours magistral, peut étouffer l'envie d'apprendre en décourageant les élèves de poser des questions ou de réfléchir. Cette répression de la curiosité peut conduire à un état de paralysie mentale et physique, appelé syndrome d'impuissance acquise.

Le rôle de l'enseignant a aussi influencé dans l'encouragement ou la suppression de la curiosité des apprenants. L'approche pédagogique peut décourager la curiosité innée des enfants en favorisant un mode d'apprentissage passif plutôt qu'actif. Une expérience [612] démontre que lorsque l'enseignant présente complètement un nouvel objet, les enfants cessent d'explorer, pensant qu'ils ont déjà tout découvert. En revanche, lorsque l'enseignant laisse entendre qu'il ne sait pas tout, les enfants continuent d'explorer. Ainsi, la bonne approche consiste à maintenir les enfants en alerte en posant des questions et en stimulant leur imagination, tout en leur laissant comprendre qu'il reste encore beaucoup à découvrir.

### **L'engagement actif, la curiosité et la musique**

Être musicien requiert de nombreuses compétences, et pas seulement des aptitudes musicales. Cela implique de la créativité, un sens de l'esthétique, de la concentration, de la curiosité et l'expression des émotions. Ces compétences sont souvent associées à des traits de personnalité tels que l'ouverture à l'expérience (être ouvert aux nouvelles expériences), l'extraversion (le caractère sociable), la conscience (être organisé et fiable) et le névrosisme (la sensibilité émotionnelle). Des recherches antérieures se sont penchées sur les différences de personnalité au sein des musiciens, mais une étude menée par Gjermunds en 2020 [296] a



comparé les musiciens aux non-musiciens. Les chercheurs ont étudié un groupe de musiciens et un groupe de non-musiciens et ont mesuré leur personnalité à l'aide du *Ten-Item Personality Measure* (TIPI). Les résultats ont montré que les musiciens obtenaient des scores plus élevés en ouverture à l'expérience et plus faibles en conscience par rapport aux non-musiciens. Aucune différence significative n'a été observée pour les autres traits (extraversion, amabilité et névrosisme). Cela suggère que les musiciens, en général, ont tendance à être plus créatifs et ouverts d'esprit que les non-musiciens, et peuvent être légèrement moins organisés.

Une étude norvégienne de 2017 s'est intéressée aux traits de personnalité des musiciens professionnels par rapport à la population générale [801]. Elle a également exploré les différences au sein du groupe des musiciens en fonction du type d'emploi (freelance versus salarié) et de l'instrument (chant versus instruments à cordes). Plus de 1 600 musiciens professionnels norvégiens ont répondu à un test de personnalité en 2013. Les chercheurs ont comparé leurs résultats à ceux d'un groupe plus large de Norvégiens ayant passé le même test en 2007. En moyenne, les musiciens ont obtenu des scores plus élevés en névrosisme (sensibilité émotionnelle) et plus faibles en conscience (organisation et fiabilité) que la population générale. Les musiciens freelance et ceux cumulant un emploi salarié et une activité freelance ont obtenu des scores encore plus élevés en ouverture à l'expérience. Les chanteurs ont obtenu les scores les plus élevés en ouverture à l'expérience. Les musiciens jouant d'instruments à cordes ont obtenu des scores plus élevés en névrosisme et en introversion (moins extravertis). Cependant, la conclusion générale de l'étude est que les musiciens présentent globalement des traits de personnalité quelque peu différents de la population générale, en particulier en termes d'ouverture à l'expérience et de sensibilité émotionnelle.

Une étude menée par Schellenberg [692] en 2006 a mis en évidence un lien entre la réussite scolaire des enfants et la formation musicale. Les enfants qui suivent des cours de musique ont tendance à obtenir de meilleurs résultats scolaires, même lorsque leur intelligence (QI) est similaire à celle des enfants n'ayant pas suivi de formation musicale. Cela suggère que la formation musicale pourrait développer des compétences allant au-delà de la simple intelligence

(QI). Les enfants qui prennent des cours de musique peuvent avoir d'autres atouts qui les aident à réussir à l'école. Il peut s'agir de la curiosité, de la motivation, de la persévérance, de la concentration et de l'organisation. Ces compétences peuvent être utiles non seulement en musique, mais aussi dans les études et dans d'autres domaines de la vie. De plus, ces mêmes compétences pourraient les inciter à apprécier et à poursuivre leurs cours de musique.

Kendra Franks [266] a mené une étude descriptive basée sur un questionnaire afin d'explorer les dimensions de la curiosité chez les enseignants de musique du secondaire et leur perception de la curiosité et de la créativité dans l'apprentissage des élèves. À l'aide de l'échelle révisée des cinq dimensions de la curiosité [409], les participants ont évalué leur propre curiosité selon cinq axes : l'exploration joyeuse, la sensibilité à la privation, la tolérance au stress, la recherche de sensations fortes et la curiosité sociale. Les enseignants de musique ont observé une créativité accrue chez leurs élèves lorsque ceux-ci bénéficiaient d'une certaine autonomie et de possibilités de leadership à travers des projets basés sur la curiosité et l'investigation. Les enseignants peuvent cultiver la curiosité des élèves en adoptant une attitude ouverte et en concevant des plans de cours qui donnent aux élèves une voix dans le processus d'apprentissage. Encourager les élèves à explorer leur curiosité peut potentiellement améliorer leur créativité. La compréhension de ces dimensions de la curiosité peut aider les enseignants de musique à développer des plans de cours qui correspondent aux intérêts des élèves, favorisant ainsi l'engagement et la créativité en classe.

### 3.2.4 Le retour sur erreur

L'erreur est essentiel dans le processus d'apprentissage. L'idée que se tromper et apprendre sont étroitement liés, chaque erreur représentant une opportunité d'apprentissage. L'apprentissage est rendu possible par les échecs, à condition de recevoir un retour sur ces erreurs, une rétroaction qui guide vers la bonne direction.

Le cerveau apprend en percevant les écarts entre les prédictions et les réalités. Cette hypothèse, avancée par Rescorla et Wagner dans les années 1970 [859], stipule que l'apprentissage ne se produit que lorsque des signaux d'erreur sont

perçus. La théorie explique divers aspects de l'apprentissage par conditionnement, notamment l'expérience du chien de Pavlov, en soulignant l'importance de la surprise dans l'apprentissage. Selon cette théorie, le cerveau élabore des prédictions basées sur les entrées sensorielles, calcule les différences entre ces prédictions et les stimuli réels, puis ajuste sa représentation interne en fonction de ces erreurs de prédiction. Cette approche met en avant trois piliers de l'apprentissage : l'attention aux entrées sensorielles, l'engagement actif dans la production de prédictions et le retour sur erreur pour ajuster ces prédictions.

Les équations développées par Rescorla et Wagner sont similaires à celles utilisées dans les réseaux de neurones artificiels [740], soulignant les parallèles entre les processus d'apprentissage biologiques et artificiels. Bien que le cerveau humain utilise des mécanismes plus complexes, l'idée principale selon laquelle il anticipe les événements et ajuste ses prédictions en fonction des écarts reste valable. Cette théorie a révolutionné la compréhension de l'apprentissage en rejetant l'idée d'un cerveau passif qui associe simplement des stimuli, démontrant plutôt que l'apprentissage est un processus actif et dynamique influencé par la surprise et les erreurs de prédiction.

L'expérience du blocage de l'apprentissage, met en évidence le fait que l'apprentissage ne se produit que lorsqu'il y a une surprise, une erreur de prédiction, ce qui souligne l'importance cruciale de ces signaux internes dans le processus d'acquisition de connaissances [66]. Même si une réponse est correcte du premier coup, si elle est devinée, elle génère toujours un signal d'erreur qui contribue à l'apprentissage en mettant à jour les connaissances existantes. Cette perspective démontre que l'apprentissage ne nécessite pas nécessairement des erreurs effectives, mais plutôt des écarts entre les prédictions et la réalité.

Cette règle de l'absence de surprise entraînant un faible apprentissage semble être universelle, y compris chez les nourrissons. Les bébés réagissent de manière plus intense lorsque des événements improbables se produisent, ce qui indique leur capacité à percevoir et à apprendre des signaux d'erreur. Des expériences montrent que lorsque les bébés sont confrontés à des situations impossibles ou improbables, leur apprentissage est facilité [249]. Par exemple, lorsqu'ils voient un objet traverser mystérieusement un mur, ils retiennent mieux les informations et s'engagent dans des comportements exploratoires pour comprendre

cet événement. Cela démontre que la nature de l'erreur perçue influence la façon dont les enfants ajustent leurs hypothèses sur le monde qui les entoure, conformément à la théorie de la propagation des erreurs.

### **L'anticipation de l'erreur**

Stanislas Dehaene [184] explore dans également le rôle de l'erreur dans le processus d'apprentissage en mettant en évidence la manière dont les aires cérébrales émettent et échangent des messages d'erreur. Une expérience simple avec des séries de notes musicales démontre que le cerveau s'adapte aux séquences prévisibles, mais réagit avec surprise lorsque la séquence est interrompue par un événement inattendu. Cette réaction de surprise indique que le cerveau utilise le passé récent pour prédire l'avenir, annulant les informations prévisibles et amplifiant celles qui contredisent les attentes.

L'aire auditive agit comme un filtre en ne transmettant aux niveaux supérieurs du cortex que les informations surprenantes et imprévisibles, créant ainsi une hiérarchie de messages d'erreur. Par exemple, un changement de note dans une mélodie engendre un signal d'erreur au niveau auditif de base, mais ce signal est rapidement expliqué par une représentation de niveau supérieur de la mélodie complète. De même, une séquence monotone de notes n'engendre pas de signal d'erreur au niveau auditif, mais crée une surprise au niveau supérieur lorsque les attentes pour une montée musicale ne sont pas satisfaites.

Une recherche récente [136] suggère que le plaisir de l'écoute musicale provient de l'anticipation du cortex auditif. Cette étude a examiné comment les attentes musicales influencent la perception du plaisir en utilisant un modèle d'apprentissage automatique pour quantifier l'incertitude et la surprise associées aux accords dans des chansons populaires. Les chercheurs ont constaté que les accords suscitaient des évaluations de plaisir élevées lorsqu'ils déviaient considérablement des attentes ou lorsqu'ils correspondaient aux attentes dans un contexte peu informatif. Les données de neuroimagerie ont montré que l'activité dans l'amygdale, l'hippocampe et le cortex auditif reflétait l'interaction entre l'incertitude et la surprise, tandis que le noyau accumbens répondait spécifiquement à l'incertitude. Ces résultats remettent en question les modèles actuels du

plaisir évoqué par la musique et soulignent l'importance des états prospectifs et rétrospectifs d'attente dans la formation de l'expérience musicale.

Le cerveau humain est doté de mécanismes complexes pour traiter les signaux d'erreur et adapter ses réponses en fonction des attentes. Dans différentes régions cérébrales, les neurones s'habituent aux événements prévisibles mais réagissent fortement à l'apparition d'un événement inattendu [882]. Par exemple, dans le cortex visuel, une image inattendue stimule l'activité neuronale, tandis que dans les aires du langage, des phrases grammaticalement incorrectes génèrent des signaux d'erreur spécifiques. Ces réponses cérébrales reflètent la détection d'une discordance entre les prédictions du cerveau et les stimuli perçus. Le circuit de récompense, en particulier, est impliqué dans l'anticipation et la réaction aux récompenses attendues, montrant une activation neuronale en réponse à l'erreur de prédiction plutôt qu'à la récompense réelle.

### **Le retour sur erreur à l'école**

L'apprentissage efficace dépend de la qualité du retour sur erreur que nous recevons [334]. Que ce soit dans un environnement éducatif, familial, ou même dans un contexte de jeu vidéo, un retour rapide et précis sur nos erreurs est crucial. Ce retour peut être simple, comme un signal binaire indiquant si nous avons juste ou faux. C'est ce qu'on appelle l'apprentissage non supervisé. Cependant, pour accélérer l'apprentissage, un retour sur erreur plus détaillé est idéal, indiquant précisément ce qu'il aurait fallu faire différemment pour éviter l'erreur. C'est l'apprentissage supervisé. En fournissant un retour sur erreur détaillé, les enseignants permettent aux élèves de corriger leurs erreurs plus efficacement.

En intelligence artificielle, cet apprentissage supervisé est particulièrement efficace car il permet à la machine de s'améliorer rapidement en comprenant ses erreurs [490]. Il est important de noter que ce retour sur erreur n'est pas une punition, mais plutôt une information précieuse sur les endroits où nous nous sommes trompés. Les recherches en éducation confirment l'importance de fournir un retour sur erreur de qualité aux élèves pour favoriser leur réussite scolaire. Selon Dehaene [184] les bons enseignants comprennent cela et cherchent

à diagnostiquer les difficultés de leurs élèves pour les aider à progresser. Ils savent que l'erreur est une partie normale du processus d'apprentissage et cherchent à restaurer la confiance des élèves tout en les guidant vers la bonne direction.

### **Le rôle de l'état de sprit**

Dehaene [184] aborde la question de l'évaluation à l'école, en mettant en lumière les défauts du système de notation traditionnel. Il souligne que les notes, souvent utilisées comme sanction, ne sont pas toujours précises ni informatives. L'impact émotionnel des mauvaises notes sur les élèves, notamment en mathématiques où l'anxiété est courante.

Cédric Laheyne a publié en 2021 [456] une étude sur des élèves d'une classe préparatoire littéraire dans une école privée à Paris. Cette classe a des règles strictes et les élèves doivent travailler dur. Beaucoup sont stressés par cet environnement nouveau. En plus du travail scolaire, ils apprennent à gérer leurs émotions, ce qui n'est pas toujours facile. Les élèves utilisent leurs émotions pour s'adapter à l'école, mais cela dépend aussi de leur situation sociale et de leur parcours scolaire. Les élèves apprennent à gérer leurs émotions, soit en les contrôlant pour se conformer aux normes scolaires, soit en les utilisant comme une ressource pour résister aux pressions de l'école. Ce processus d'apprentissage est influencé par la socialisation à la fois à l'école et en famille, où des techniques de gestion des émotions sont transmises. La manière dont les élèves gèrent leurs émotions peut varier en fonction de leur expérience préalable et de leurs ressources émotionnelles.

Les recherches sur le stress et l'apprentissage montrent que le stress peut entraver la capacité d'apprentissage, tandis que l'environnement stimulant favorise la plasticité neuronale. Carol Dweck a publié des études sur l'influence de l'état d'esprit, les croyances implicites des individus sur la malléabilité des caractéristiques humaines, notamment dans le contexte académique [860]. Selon Dweck, une mentalité fixe considère l'intelligence comme fixe, entraînant un retrait face aux défis, tandis qu'une mentalité de croissance voit les capacités comme malléables, favorisant l'effort et la résilience. Les étudiants à mentalité

fixe craignent souvent l'échec et évitent les retours, entravant leur succès académique et augmentant l'anxiété. Les pratiques pour favoriser une mentalité de croissance comprennent la normalisation des erreurs, la valorisation de l'effort plutôt que de l'intelligence, l'accent mis sur l'importance des retours, l'acceptation des défis et l'enseignement que les capacités peuvent évoluer avec le temps grâce à la pratique délibérée et à l'effort.

### **La valeur et la fréquence du test**

Karpicke et Roediger [402] ont mené en 2008 une étude sur l'influence de l'évaluation sur l'apprentissage. Dans leur étude, les chercheurs ont exploré l'efficacité de différentes méthodes d'apprentissage sur l'acquisition de vocabulaire dans une langue étrangère. Ils ont mené des expériences où les étudiants ont participé à des cycles d'étude-test répétés pour apprendre du vocabulaire. Cependant, ils ont également testé des variations où une fois qu'un étudiant avait correctement rappelé un élément de vocabulaire, il était soit étudié à nouveau mais pas retesté, retesté mais pas révisé, ou ni révisé ni retesté. À leur surprise, ils ont constaté que l'étude répétée après l'apprentissage n'améliorait pas le rappel différé, tandis que le test répété améliorait significativement la rétention en mémoire. De plus, les prédictions des étudiants quant à leurs performances ne correspondaient pas à leurs résultats réels. Cela souligne l'importance de la pratique de la récupération dans le renforcement de l'apprentissage, un fait dont même les étudiants universitaires semblent ne pas être conscients.

L'espacement des apprentissages, une stratégie fondée sur la répartition des sessions d'étude dans le temps plutôt que sur leur regroupement, s'avère être l'une des méthodes les plus efficaces pour favoriser la mémorisation selon les sciences de l'apprentissage [400]. Les recherches en psychologie expérimentale démontrent que cette méthode surpasse largement l'apprentissage en une seule fois. En effet, la répartition des séances d'apprentissage sur plusieurs jours multiplie la capacité de mémorisation par trois par rapport à un apprentissage concentré dans une seule séance. L'espacement des révisions augmente l'activité cérébrale, créant un effet de « difficulté désirable » qui favorise la consolidation des informations. La révision ou la pratique espacée améliore différentes

formes d'apprentissage, y compris la mémoire, la résolution de problèmes et la généralisation à de nouvelles situations.

Benjamin et Pashler, extraient plusieurs enseignements pratiques de ses recherches sur l'apprentissage. Tout d'abord, ils soulignent l'importance de répartir l'apprentissage sur plusieurs sessions plutôt que de tout apprendre en une seule fois. De plus, ils recommandent des révisions espacées sur des intervalles de quelques mois pour une rétention à long terme. Ils critiquent l'organisation traditionnelle des manuels scolaires, soulignant que les exercices devraient être mélangés pour tester régulièrement l'ensemble des connaissances. En ce qui concerne les examens, bien qu'ils encouragent souvent la révision de dernière minute, une révision régulière tout au long de l'année est plus bénéfique à long terme. Les examens cumulatifs, portant sur l'ensemble du programme depuis le début de l'année, sont préférables aux examens à court terme. De plus, les chercheurs expliquent que le surapprentissage, c'est-à-dire réviser et retester même ce que l'on maîtrise déjà, est bénéfique car cela renforce la mémoire et automatise les opérations mentales.

### **Le retour sur erreur en musique**

Comme nous en discutons tout au long de ce chapitre, la perception n'est peut-être pas seulement une réponse passive à ce que nous ressentons, mais un processus actif façonné par nos attentes. En d'autres termes, notre cerveau prédit et s'ajuste constamment, créant une boucle continue qui façonne notre compréhension du monde. Cela signifie que la pensée et la perception ne sont pas des processus séparés, mais qu'ils travaillent plutôt ensemble dans une hiérarchie pour minimiser les erreurs de prédiction. La musique est un exemple fantastique de la façon dont notre cerveau fait des prédictions. En effet, la musique est pleine de motifs - rythmes, mélodies, harmonies et même textures - que nous pouvons apprendre à anticiper. Contrairement aux sons aléatoires, la musique nous donne des indices sur ce qui pourrait se passer ensuite, créant un suspense jusqu'à ce qu'une prédiction se confirme [436].

Lorsque les musiciens jouent d'un instrument, le retour auditif joue un rôle crucial dans le contrôle des mouvements, créant un lien fort entre la perception



et l'action. Les musiciens expérimentés possèdent des compétences complexes impliquant le traitement d'informations auditives, proprioceptives et visuo-motrices pour réguler des mouvements précis. L'apprentissage musical implique la formation de nouvelles associations entre les éléments auditifs, visuels et moteurs. Des études utilisant diverses techniques telles que la stimulation magnétique transcrânienne (TMS), l'électroencéphalogramme (EEG), la magnétoencéphalographie (MEG) et l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) ont montré que l'écoute de musique familière active les régions cérébrales impliquées dans la représentation motrice [500]. À l'inverse, regarder des mains jouer sans son active les zones auditives et prémotrices. Cela indique que la formation musicale favorise les associations croisées entre l'action et la perception, conduisant à une réorganisation corticale pour le traitement multisensoriel, en particulier dans le réseau audio-moteur. Pendant la performance, les musiciens développent des modèles internes qui prédisent les résultats auditifs en fonction des commandes motrices, facilitant une auto-surveillance constante et un contrôle de rétroaction rapide. Des études examinant le rôle du retour auditif lors de l'apprentissage musical suggèrent qu'il contribue aux processus de détection et de correction des erreurs. Par exemple, les pianistes montrent des réponses liées aux erreurs dans le cerveau avant que les erreurs ne se produisent pendant la performance, ce qui suggère une surveillance prédictive des erreurs. Le rôle du retour auditif dans l'apprentissage de pièces musicales reste un domaine de recherche en cours, en particulier son interaction avec le retour moteur et son impact sur différents niveaux de compétence musicale.

D'après la littérature scientifique, les musiciens font des erreurs lorsqu'ils entendent des sons qui ne sont pas censés être là, même s'ils précèdent légèrement la note jouée ou la suivent de près. Pfordresher et Palmer [636] ont réalisé une expérience dans laquelle des musiciens recevaient un son en retour (feedback) auditif en avance ou en retard pendant leur performance. Ils ont conclu que cette altération du feedback auditif perturbe la planification de l'ordre des notes, et non le timing lui-même. Entendre les mauvais sons rend plus difficile pour les musiciens de faire la distinction entre les notes qu'ils avaient prévu de jouer, ce qui les conduit à jouer les notes dans le mauvais ordre. Pour compenser, les musiciens peuvent essayer de jouer des notes dans la direction opposée au son

déformé qu'ils entendent. Par exemple, s'ils entendent une note trop tôt, ils risquent de jouer la note suivante trop tard. Dans l'ensemble, cette étude suggère que la façon dont les musiciens perçoivent les sons joue un rôle important dans la planification et l'exécution de la musique. Entendre les bonnes notes est essentiel pour qu'ils puissent jouer correctement, alors que la latence auditive les perturbe.

Une des tâches principales des professeurs de musique est l'identification d'erreurs dans les interprétations. Une étude menée par Cavitt en 2003 [122] a examiné comment les chefs d'orchestre corrigent les erreurs pendant les répétitions. Cavitt a observé que les interactions entre les enseignants et les élèves variaient en fonction du type d'erreur. Même si la réussite de la correction n'a pas été mesurée, certaines parties des répétitions semblaient plus efficaces que d'autres. Une correction efficace consistait à identifier l'erreur à l'avance, à faire preuve de persévérance de la part de l'enseignant, à répéter plusieurs fois le passage correct, à donner des explications brèves, à faire des démonstrations fréquentes, à pratiquer l'erreur dans différents contextes et à fournir un feedback spécifique et positif ou négatif. Cette étude suggère que la correction des erreurs est une partie importante des répétitions, pouvant potentiellement occuper près de la moitié du temps.

En 2021, Rachel Sorenson [739] a mené une revue de la littérature examinant les recherches antérieures sur la façon dont les professeurs de musique identifient les erreurs, tant les débutants que les plus expérimentés. La plupart des études se sont concentrées sur la définition des erreurs et leur degré de gravité, la création de tests pour mesurer cette compétence, les qualités qui font qu'une personne est douée pour cela, et les facteurs qui peuvent influencer cette capacité. Ces études ont montré qu'il existe de bonnes méthodes pour tester cette compétence et que certains éléments peuvent améliorer ou nuire à cette capacité. Il existe également un défi dans la conception d'études à la fois réalistes (reflétant des situations du monde réel) et bien contrôlées (évitant les influences extérieures).

Sorenson analyse aussi les divers facteurs pouvant influencer la capacité à détecter les erreurs. En général, selon les chercheurs plus d'années d'expérience en enseignement sont associées à de meilleures compétences en matière de détection d'erreurs, notamment une identification plus rapide. Cependant, il semble

y avoir une faible corrélation entre soit le GPA des compétences auditives, soit le nombre et le type d'instruments joués et la compétence en détection d'erreurs. Les études portant sur des variables spécifiques ont montré que l'instruction programmée améliore généralement la détection des erreurs, mais les effets de l'étude de la partition et de la direction ont donné des résultats mitigés. De plus, il a été observé que les erreurs de rythme sont généralement plus faciles à repérer que les erreurs de hauteur, et que certaines méthodes et matériaux pédagogiques, tels que le chant contextuel et l'entraînement auditif, les enregistrements vidéo et l'utilisation de musique tonale ou de texture/timbre simple, peuvent améliorer les capacités de détection des erreurs.

### 3.2.5 La consolidation

Le surapprentissage, ou la consolidation de l'apprentissage, est le processus de continuer à pratiquer une compétence même après l'avoir déjà maîtrisée à un certain niveau [216]. Au lieu d'arrêter la pratique une fois la compétence acquise, le surapprentissage consiste à pratiquer davantage la compétence au même niveau de difficulté. Cette pratique supplémentaire, au-delà de ce qui est nécessaire pour la maîtrise initiale, est censée solidifier la compétence et la rendre plus résistante à l'oubli ou à l'interférence de nouveaux apprentissages. Ce processus semble avoir un effet « rafraîchissant » sur le cerveau, le rendant plus résistant aux tâches d'apprentissage concurrentes. Bien que le surapprentissage ait été étudié principalement dans des tâches motrices comme le basketball ou la danse, il peut également être bénéfique pour des tâches cognitives comme l'apprentissage des langues ou la mémorisation de faits. La consolidation implique un passage d'un traitement lent, conscient et avec effort à un fonctionnement rapide, inconscient et automatique. Le cerveau continue d'apprendre même lorsque la compétence est maîtrisée, en consolidant les opérations courantes dans des routines plus efficaces qui se déroulent inconsciemment.

Dehaene en 2004 a publié une étude sur le processus de reconnaissance des mots chez les lecteurs experts, mettant en avant la capacité du cerveau à reconnaître les mots malgré les changements de casse et de position rétinienne, tout en maintenant une sensibilité aux arrangements des lettres [188]. À travers

des expériences de priming subliminal masqué, les chercheurs ont exploré l'automatisme et l'anatomie fonctionnelle de la reconnaissance invariante des mots. Ils ont découvert que notre cerveau met automatiquement les lettres ensemble pour former des mots, et il le fait sans que nous ayons à y penser. Ils ont également découvert que différentes parties du cerveau sont responsables de la reconnaissance des mots de différentes manières. Ces découvertes nous aident à comprendre comment nous pouvons lire sans même nous en rendre compte et comment notre cerveau traite les mots.

Le processus d'apprentissage, qu'il s'agisse de la lecture, de la musique, de la conduite ou des mathématiques, implique une évolution significative dans la manière dont notre cerveau traite l'information. Lorsqu'un lecteur débutant s'engage dans la lecture, le circuit normal associé à cette activité est déjà activé, mais il est également accompagné d'une forte activation de régions cérébrales supplémentaires, notamment les régions pariétales et préfrontales, qui reflètent l'effort, l'attention spatiale et les stratégies conscientes [188]. Cette activité intense diminue progressivement à mesure que l'apprentissage se consolide. En effet, un lecteur expert n'active que les aires spécifiques nécessaires à la lecture elle-même et n'a plus besoin de l'intervention consciente des régions pariétales et préfrontales. Ce processus de routinisation de la lecture consiste à développer un circuit spécialisé pour le traitement efficace des chaînes de lettres courantes. Avec l'apprentissage, notre cerveau compile des statistiques sur les lettres les plus fréquentes, leur position et leurs associations, ce qui lui permet de reconnaître rapidement et efficacement les caractères. Après un certain temps, ce processus devient automatique, et nous pouvons lire sans effort conscient.

### **Le sommeil et la mémoire**

Les recherches sur le sommeil ont révélé que dormir joue un rôle crucial dans le processus d'apprentissage et de consolidation de la mémoire. En reprenant les études classiques sur la mémoire, des psychologues ont observé qu'il y avait une anomalie dans la courbe d'oubli qui semblait être liée au sommeil. Ils ont alors réalisé une expérience où ils ont enseigné à des étudiants des syllabes aléatoires soit juste avant de dormir, soit le matin, et ont constaté que

l'apprentissage était plus stable pour ceux qui avaient dormi après avoir appris [393]. Des études ultérieures ont confirmé ces résultats en montrant que la quantité et la qualité du sommeil étaient directement liées à l'amélioration des performances cognitives et motrices [401]. De plus, le sommeil paradoxal et le sommeil profond semblent jouer des rôles différents dans le processus de consolidation de la mémoire, avec le sommeil profond favorisant la consolidation des connaissances sémantiques ou déclaratives, tandis que le sommeil paradoxal renforce les apprentissages perceptifs et moteurs. Ces découvertes soulignent l'importance de dormir suffisamment et de manière régulière pour favoriser un bon apprentissage et une bonne mémoire.

Plusieurs études ont été menées pour étudier l'efficacité de l'apprentissage verbal et non verbal pendant le sommeil chez les humains [32]. Certaines recherches ont montré des signes encourageants d'apprentissage implicite non verbal pendant le sommeil, avec des études démontrant le transfert de cet apprentissage à l'éveil. De plus, des études récentes ont identifié des marqueurs comportementaux et neuronaux de l'apprentissage verbal implicite pendant le sommeil. Cependant, le rappel explicite du matériel appris pendant le sommeil semble être impossible dans la plupart des cas, sauf dans une étude où les stimuli étaient incorporés dans des rêves lucides pendant le sommeil paradoxal.

En 1994, les chercheurs Matt Wilson et Bruce McNaughton ont découvert que pendant le sommeil des rats, les neurones de l'hippocampe s'activent spontanément, même en l'absence de stimulation extérieure [842]. Cette activité neuronale n'est pas aléatoire, mais reflète plutôt les déplacements que l'animal a effectués pendant la journée. Lorsque le rat se déplace, différents groupes de neurones s'activent en séquence en fonction de sa position dans l'espace, ce qui crée une représentation neuronale de son parcours. Lorsque le rat s'endort, les mêmes neurones de l'hippocampe se réactivent dans le même ordre, mais souvent à une vitesse accélérée jusqu'à 20 fois supérieure. Cela suggère que le rat « rêve » de ses déplacements à une vitesse accélérée pendant le sommeil. Cette activité neuronale pendant le sommeil joue un rôle crucial dans la consolidation des apprentissages. Les séquences d'activité répétées des centaines de fois pendant la nuit contribuent à renforcer les souvenirs et à automatiser les apprentissages des jours précédents.

Le lien entre le sommeil et l'apprentissage est bien établi chez l'homme, comme chez le rat. Des études d'imagerie cérébrale ont montré que les circuits sollicités pendant la journée se réactivent pendant le sommeil [362]. Des expériences de manipulation du sommeil ont montré qu'il est possible d'augmenter artificiellement la profondeur du sommeil pour améliorer la consolidation de la mémoire [515]. En stimulant le cerveau avec des impulsions électriques ou des sons synchronisés avec les ondes cérébrales du sommeil, il est possible de renforcer la production d'ondes lentes caractéristiques du sommeil profond, ce qui entraîne une meilleure consolidation des apprentissages.

La consolidation nocturne ne se limite pas à renforcer les connaissances existantes ; elle implique également une recodification des informations sous une forme plus abstraite et générale [90]. La réactivation neuronale pendant le sommeil joue un rôle crucial dans ce processus, en permettant une compression de l'information et en favorisant la découverte de règles générales. Ces mécanismes pourraient expliquer pourquoi nous faisons souvent des découvertes ou des résolutions de problèmes après une bonne nuit de sommeil. Les rêves eux-mêmes pourraient jouer un rôle dans ce processus d'apprentissage et de découverte. En imaginant des scénarios et en manipulant des modèles mentaux, le cerveau peut explorer de nouvelles idées et découvrir des implications inattendues.

Le sommeil joue un rôle crucial dans l'apprentissage et le développement cognitif des enfants et des adolescents [615]. Dès les premiers mois de la vie, la consolidation nocturne est active, favorisant la rétention des informations apprises pendant la journée. Chez les enfants d'âge préscolaire, même une courte sieste améliore l'apprentissage. Cependant, le sommeil des enfants est menacé par divers facteurs, notamment le manque chronique de sommeil, associé à des problèmes d'attention et d'hyperactivité. Chez les adolescents, les changements hormonaux de la puberté entraînent des difficultés à se lever tôt, ce qui peut affecter leur performance académique. Des études ont montré que retarder l'heure de début des cours à l'école peut avoir des effets bénéfiques sur le sommeil des adolescents, réduisant l'absentéisme et améliorant les performances scolaires.

### **Le sommeil et la musique**

Des études antérieures ont indiqué que le sommeil aide à améliorer l'acquisition de compétences en consolidant les souvenirs récents dans une forme plus stable [219, 19]. Cependant, les mécanismes spécifiques par lesquels le sommeil bénéficie à l'acquisition de compétences musicales demeurent peu clairs. Cette ambiguïté découle du fait que les recherches antérieures n'ont pas distingué dans quelle mesure le sommeil consolide les schémas moteurs appris de la structure conceptuelle de la musique elle-même. Pour combler cette lacune, Van Hedger et ses collègues [803] ont mené deux expériences où des pianistes ont interprété de brefs morceaux de musique, conçus pour isoler les erreurs conceptuelles des erreurs motrices, tout au long d'une journée. Dans la première expérience, les participants ont été formés le matin puis testés immédiatement, ainsi qu'à 12 et 24 heures après la formation. Alors que les erreurs conceptuelles et motrices ont toutes deux augmenté sur l'intervalle de rétention éveillé, seules les erreurs conceptuelles ont montré une réduction significative après le sommeil. De plus, les individus qui ont déclaré passer plus de temps à jouer « à l'oreille » ont montré de plus grandes réductions des erreurs conceptuelles après le sommeil. Une deuxième expérience de contrôle, où les participants ont été formés le soir puis testés immédiatement, ainsi qu'à 12 heures après la formation, a confirmé que les résultats de la première expérience n'étaient pas uniquement attribuables aux influences circadiennes ou au temps écoulé depuis la formation. Dans l'ensemble, ces résultats indiquent que les erreurs conceptuelles et motrices subissent des processus de consolidation distincts et sont influencées par les variations des méthodes de pratique.

En ce qui concerne les pauses entre l'apprentissage et le sommeil, l'équipe de Simmons [719] a examiné comment les intervalles de pause précoces, impliquant diverses activités cognitives, affectent l'apprentissage des compétences motrices chez les musiciens et les non-musiciens. Plus d'une centaine de participants (moitié de musiciens, moitié de non-musiciens) ont été chargés d'apprendre une séquence de cinq touches sur un piano numérique lors de séances d'entraînement de 12 minutes. Les participants de trois conditions prenaient une pause de 5 minutes après 3 minutes de pratique, s'engageant soit dans la pratique

d'une nouvelle séquence de touches, la mémorisation de paires de mots, ou la conversation avec le surveillant. Un quatrième groupe n'avait pas de pause. Les tests ont eu lieu 12 heures plus tard, après une nuit de sommeil. Les deux groupes ont montré une amélioration significative des performances au cours de l'entraînement et des tests, les musiciens surpassant systématiquement les non-musiciens. Les non-musiciens ont montré des gains en pourcentage plus importants pendant l'intervalle de pause de 5 minutes et pendant la nuit par rapport aux musiciens. De plus, les participants dans la condition Pause-moteur ont montré des gains plus faibles pendant la pause de 5 minutes par rapport à ceux des conditions Pause-discussion et Pause-paire de mots. Ces résultats suggèrent que s'engager dans des tâches impliquant des souvenirs déclaratifs pendant les pauses au début de la pratique des compétences motrices n'altère pas les améliorations des performances, mais de telles améliorations peuvent être entravées par l'engagement dans des tâches motrices concurrentes.

Dans une étude similaire, approfondissant la nature des pauses, Davis Cash [120] a conclu que les participants ayant bénéficié de pauses en début de pratique ont montré les plus forts gains nocturnes après le sommeil. Ses résultats suggèrent que le placement temporel du repos pendant la pratique affecte les processus ultérieurs d'apprentissage des séquences motrices et de consolidation de la mémoire.

Une étude de 2004 [271] s'est penchée sur l'influence du sommeil sur les compétences auditives chez des non-musiciens. Comme pour la motricité, ils ont constaté que l'apprentissage se poursuivait même sans pratique supplémentaire. Cependant, tout comme pour la motricité, cette amélioration ne se produisait que lorsque le sommeil était inclus entre l'entraînement et le test, et non pas pendant les heures de veille. De plus, les gains d'apprentissage étaient similaires, que l'entraînement ait lieu le matin ou le soir.

### 3.2.6 Le numérique et l'apprentissage

Alors que certaines études suggèrent des bénéfices comme une amélioration de l'attention chez les joueurs vidéo, l'impact de la technologie sur notre façon de penser reste flou. Les recherches portant sur les jeux vidéo et le multitâche



montrent des résultats mitigés, mettant en évidence la complexité de la manière dont la technologie influence différentes capacités cognitives. Même des facteurs apparemment simples, comme la présence d'un téléphone, peuvent entraver la fonction cognitive. Il est important de se rappeler que l'attention est un processus complexe influencé par divers facteurs, notamment les objectifs personnels et l'intention de conception de la technologie elle-même. Cette relation à double sens entre l'homme et la technologie nécessite une compréhension nuancée, allant au-delà des affirmations générales sur les impacts négatifs de la technologie sur l'attention. Des recherches supplémentaires tenant compte de contextes spécifiques et de facteurs divers sont nécessaires pour saisir pleinement la relation complexe entre la technologie et nos capacités cognitives [489].

Une étude en France a examiné les effets de l'exposition à la lumière naturelle et aux écrans sur le sommeil des enfants âgés de 8 à 9 ans pendant la période de confinement entre mars et mai 2020 [257]. Les résultats révèlent une association significative entre une exposition accrue aux écrans et une diminution de la durée du sommeil chez les enfants, même après avoir pris en compte d'autres facteurs. Cependant, aucune association n'a été observée entre l'exposition aux écrans et les difficultés de sommeil, ni entre l'exposition à la lumière naturelle et le sommeil. Ces conclusions soulignent l'importance de limiter l'exposition aux écrans chez les enfants pour favoriser un sommeil de qualité.

### **3.3 Perception et cognition musicale**

Afin de comprendre l'apprentissage musical et auditif, nous commencerons par un bref examen du processus auditif et de la perception auditive des sons et de la musique. Ensuite nous allons aborder le rôle du groupement perceptif dans le traitement de l'information auditive et la formation de l'imagerie mentale en musique.

#### **3.3.1 La perception auditive**

Marion Luyat [503] écrit que la perception est le processus de prendre connaissance des événements de notre environnement par le biais de nos sys-

tèmes perceptifs. La perception peut décrire en même temps le résultat de cette connaissance ainsi que le processus psycho-physiologique que lui a donné naissance. En tant que résultat la perception renvoie une « représentation » (intérieure). En tant que processus est une fonction corporelle pour saisir les caractéristiques de l'environnement extérieur ou intérieur.

John Sloboda [731] dans son livre *The Musical Mind : The Cognitive Psychology of Music* écrit que dans le langage comme dans la musique, le son peut être considéré comme impliquant trois niveaux différents : la phonologie, la syntaxe et la sémantique. La « phonologie » fait référence à la matière première de chaque domaine, ses unités sonores ; la « syntaxe » fait référence aux règles selon lesquelles les entités sonores se combinent ; la « sémantique » désigne le sens porté par, ou assigné à, un flux de sons ainsi organisés. Ces trois niveaux sont pertinents pour la perception auditive, qui semble être (dès les premières étapes) un processus complexe, dynamique et même liée à la personnalité psychique de l'individu.

L'oreille humaine est le système périphérique de l'audition et au même temps l'organe de l'équilibre.

### 3.3.2 Le système auditif

Chez l'être humain le système auditif est composé de trois parties nommées l'oreille externe, l'oreille moyenne et l'oreille interne.

#### L'oreille externe

L'oreille externe se compose d'un pavillon et d'un conduit auditif d'environ 2 cm de long. Le pavillon protège l'oreille moyenne afin d'éviter d'endommager le tympan. L'oreille externe canalise également les ondes sonores qui atteignent l'oreille par le canal auditif vers le tympan. En raison de sa longueur, le conduit auditif est capable d'amplifier les sons dont la fréquence est d'environ 3500 Hz. Lorsque le son traverse l'oreille externe, il se présente toujours sous la forme d'une onde de pression, avec une alternance de zones de haute et de basse pression. Ce n'est que lorsque le son atteint le tympan, à l'interface entre l'oreille externe et l'oreille moyenne, que l'énergie de l'onde mécanique est convertie en

vibrations de la structure osseuse interne de l'oreille [244].

### **L'oreille moyenne**

L'oreille moyenne est une cavité remplie d'air qui se compose d'un tympan et de trois petits os interconnectés - le marteau, l'enclume et l'étrier. Le tympan est une membrane très résistante et très tendue qui vibre lorsque les ondes de pression sonore (le son) entrantes l'atteignent. Une compression d'air force le tympan vers l'intérieur et une raréfaction le force vers l'extérieur, faisant ainsi vibrer le tympan à la même fréquence que l'onde sonore.

Étant reliés au marteau, les mouvements du tympan vont mettre en mouvement le marteau, l'enclume et l'étrier à la même fréquence de l'onde sonore. L'étrier est relié à l'oreille interne; ainsi, les vibrations de l'étrier sont transmises au fluide de l'oreille interne et créent une onde de compression dans le fluide. Les trois petits os de l'oreille moyenne agissent comme des leviers pour amplifier les vibrations de l'onde sonore. En raison d'un avantage mécanique, les déplacements de l'étrier sont plus importants que ceux du marteau. De plus, comme l'onde de pression qui frappe la grande surface du tympan est concentrée dans la petite surface de l'étrier, la force de l'étrier vibrant est près de 15 fois supérieure à celle du tympan. Cette caractéristique renforce la capacité à entendre les sons les plus faibles. L'oreille moyenne est une cavité remplie d'air qui est reliée à la bouche par la trompe d'Eustache. Cette connexion permet l'égalisation de la pression dans les cavités remplies d'air de l'oreille [244].

### **L'oreille interne**

L'oreille interne se compose de la cochlée, des canaux semi-circulaires et du nerf auditif. La cochlée et les canaux semi-circulaires (l'organe de Corti) sont remplis d'un fluide. La cochlée est un organe en forme d'escargot qui d'environ 3 cm. En plus d'être remplie de liquide, la surface interne de la cochlée (l'organe de Corti) est tapissée de plus de 20 000 cellules nerveuses ciliées qui jouent l'un des rôles les plus importants dans notre capacité à entendre. La longueur de ces cellules nerveuses diffère de façon minuscule; elles ont également des degrés différents de résilience au fluide qui passe sur elles. Lorsqu'une onde

de compression passe de l'interface entre le marteau de l'oreille moyenne et la fenêtre ovale de l'oreille interne à travers la cochlée, les petites cellules nerveuses ciliées sont mises en mouvement. Chaque cellule ciliée a une sensibilité naturelle à une fréquence de vibration particulière. Lorsque la fréquence de l'onde de compression correspond à la fréquence naturelle de la cellule nerveuse, cette dernière résonne avec une plus grande amplitude de vibration. Cette amplitude vibratoire accrue incite la cellule à libérer une impulsion électrique qui passe le long du nerf auditif vers le cerveau [244].

Cependant, lorsqu'il s'agit de sons complexes, comme n'importe quelle note jouée sur un instrument de musique avec toutes ses harmoniques, la membrane basilaire (sur laquelle repose l'organe de Corti) agit comme un filtre, ses vibrations reflétant les fréquences composantes (les plus basses) du son. Ainsi, le travail de l'oreille interne, comme celui de l'oreille externe et de l'oreille moyenne, a un caractère actif : l'audition d'un son complexe sous la forme d'une seule hauteur de son implique d'abord une décomposition des fréquences entrantes, suivie par une synthèse et une combinaison de ses harmoniques [324].

Au cours du processus de transduction, la forme d'onde sonore n'est pas conservée dans tous ses détails : il y a une perte partielle d'information, éventuellement compensée par une inférence basée sur des connaissances antérieures [502]. Cet exemple du rôle actif du système dans l'audition montre un aspect de la nature du processus d'audition, il y a une réception des signaux environnementaux et une action effectuée par le système récepteur. Un autre exemple du rôle actif du système sur la perception est la perception rythmique, où les chercheurs suggèrent qu'elle serait en interaction entre la musique et l'auditeur qui y projette un certain mètre [360]. Un phénomène similaire est l'étude de la « fondamentale manquante », lorsque le système auditif remplit une fréquence fondamentale qui n'est pas réellement entendue [69].

### **Le cortex auditif**

Le traitement supérieur de la musique n'est pas un processus unidirectionnel ; au contraire, la voie de la cognition auditive fonctionne dans les deux sens, impliquant les centres cérébraux supérieurs dès les premières étapes de l'analyse

auditive [443]. Des différents centres du cerveau sont responsables de la perception de la musique, chaque centre soutenant souvent une capacité similaire dans d'autres domaines [478]. Un exemple typique est le chevauchement cognitif partiel des traitements syntaxiques du langage et de la musique avec d'autres domaines, tels que les actions et les mathématiques [435].

Le fait que différents centres du cerveau soient impliqués dans la perception musicale est lié aux significations et qualifications donnés à la musique dans un domaine esthétique, social et émotionnel. Ce type de compréhension est lié aux actions moteurs dans le cas des performeurs (danseurs, musiciens, comédiens). La compréhension actuelle de la perception musicale s'appuie sur ces faits pour montrer le rôle des deux hémisphères cérébraux dans la cognition musicale (et du langage) [390]. Les différences entre les deux hémisphères sont plutôt conceptualisées en termes de spécialisation de chacun dans la résolution des caractéristiques spectrales (droite) et temporelles (gauche) [230]. Cela favorise le cortex auditif droit lorsqu'il s'agit de traiter la hauteur et la mélodie, en particulier pour le traitement « fin » de la hauteur ou de la mélodie ; tandis que le traitement du rythme utilise des opérations qui ont lieu dans les deux hémisphères (par exemple, l'hémisphère droit traite le mètre, le gauche le groupement rythmique) [623].

### 3.3.3 Le groupement perceptif

Comme le signale Sloboda [731], la perception de la musique est un processus au cours duquel le cerveau regroupe les informations entrantes. Le processus d'écoute de la musique comprend à la fois l'aspect de sa compréhension au niveau structurel et le décodage de sa signification. Afin de gérer ces informations et de leur donner un sens, le cerveau doit les structurer et les organiser.

Le rôle de la perception est de prendre les entrées sensorielles et d'en déduire une représentation utile de la réalité. S'intéressant au processus de perception auditive, Albert Bregman a suggéré qu'il repose sur la manière dont les entrées sensorielles sont regroupées par notre système nerveux, qui détermine les modèles que nous percevons [96]. L'exemple le plus clair de l'analyse complexe du son par le cerveau est le *cocktail party* où nous pouvons reconnaître diffé-

rentes voix dans un environnement acoustique chaotique (à partir d'une somme d'ondes sonores). Nous extrayons et intégrons les bonnes composantes du signal acoustique pour reconnaître le timbre de la voix de chaque personne.

Les expériences et la théorie sont nées de la théorie de la Gestalt. Cette théorie décrit comment le cerveau crée des schémas mentaux en formant des connexions entre les éléments de l'entrée sensorielle [330]. Par exemple, des éléments visibles distincts seront regroupés pour former des organisations perceptives cohérentes s'ils remplissent certaines conditions. L'explication de la Gestalt considère les principes de regroupement comme des phénomènes en soi, un système autosuffisant dont le rôle est d'organiser les choses. L'approche de l'analyse de la scène concerne le problème que l'environnement pose au perceuteur lorsqu'il tente de construire des descriptions des situations environnementales. Les psychologues de la Gestalt considéraient qu'il était impossible de percevoir des éléments sensoriels sans les organiser. L'analyse des scènes auditives et visuelles tente de deviner les objets du monde, par des principes d'attraction et de ségrégation dans un champ perceptuel.

Pour Bregman, un flux auditif est le regroupement perceptif des sons, tandis que le son ou l'événement acoustique en est la cause physique. Sur le plan perceptif, nous avons besoin d'objets pour leur donner des propriétés. Une grande partie de la perception consiste à distinguer les objets que nous percevons avec nos sens. Pour la similarité, nous regrouperions les sons d'un même instrument pour son timbre (composantes harmoniques), même s'ils sont joués sur le même registre d'un autre instrument. Pour la proximité, nous regroupons les informations acoustiques lorsqu'elles sont proches dans le spectre fréquentiel et temporel [96].

Dans la musique, ce principe de regroupement des informations s'applique à d'autres étapes de l'écoute musicale : nous regroupons les sons musicaux en raison de leur proximité en termes de hauteur, de temps, de localisation, de timbre ou d'amplitude, les entendant comme formant des « groupes » mélodiques et/ou rythmiques distincts qui donnent forme au flux constant de la musique [199, 360].

Selon Sloboda, les sections plus larges sont également détectées par des mécanismes de regroupement, mais elles ne sont plus « involontaires et immédiates

» comme dans les premières étapes de la segmentation auditive, mais font appel à la mémoire et à l'attention [731].

La réaction première au son dans le cerveau humain, qui prend naissance dans le tronc cérébral auditif, est apparemment indépendante de l'attention ; ceci est partiellement vrai aussi pour certains réflexes dans le cortex auditif [324]. L'attention n'est donc pas une condition préalable à la perception, bien qu'elle puisse l'intensifier [388]. Cependant, il est important de remarquer que l'attention est une ressource limitée. Les résultats des recherches indiquent que dans le cas de la polyphonie mélodique et rythmique, il n'est possible de suivre qu'une seule ligne à la fois.

### 3.3.4 Le rôle de la mémoire dans la perception musicale

Le traitement de la musique implique souvent des objets sonores d'une longueur élevée, comme dans le cas de symphonies ou de concertos entiers, et la mémoire ne peut qu'être étroitement liée à la perception de la musique, presque jusqu'à son identification [191, 435]. Même dans le cas d'un son unique, notre perception se fait par rapport à d'autres sons dans notre mémoire, comme par exemple lorsque nous qualifions un son de « haut », ce qui signifie « plus haut que la moyenne » selon notre expérience antérieure.

Selon Sloboda, la perception musicale implique au moins deux types de mémoire : l'un impliquant une absorption implicite de règles structurelles abstraites, et un second type qui retient des mélodies spécifiques, pas nécessairement dans leurs hauteurs exactes mais plutôt en termes de modèles et de relations sonores.

Afin de comprendre le rôle de la mémoire dans la perception de la musique, il est important de prendre en compte le changement de la notion de mémoire dans la culture occidentale. Comme le décrit Kurt Danzinger, la mémoire est l'un des rares concepts psychologiques dont la trace est très ancienne [181]. Pendant l'Antiquité et tout au long du Moyen Âge, le rôle de la mémoire était considéré comme créatif et transformateur, et non comme logique et analytique comme c'est le cas aujourd'hui. À partir du XIIIe siècle, l'écrit acquiert progressivement une plus grande autorité que l'oral dans les universités et les tribunaux, servant

de manière autonome de source valable de ce qui compte comme vérité, plutôt que de simple rappel comme auparavant.

L'invention de l'imprimerie au 15<sup>e</sup> siècle a rendu accessible une quantité toujours plus grande de documents écrits, rendant les techniques de mémorisation moins pertinentes. À mesure que le siècle des Lumières avançait, la mémoire verbale et numérique était privilégiée. L'accent n'est plus mis sur la mémorisation d'un contenu significatif, mais sur l'exactitude de la mémorisation de détails spécifiques. On pourrait dire que le regard et l'utilisation de la mémoire ont évolué d'un rôle plus actif vers un rôle plus passif de la mémoire. La mémoire est passé d'une fonction reconstructive à une fonction plutôt reproductive. De la mémorisation du contenu, voire de sa reconstruction dans ses propres mots, avec l'aide de l'imagination et de la visualisation, à la mémorisation des mots exacts [181].

En musique, une transition similaire s'est produite en ce qui concerne la mémoire et même la conceptualisation de ce que signifie apprendre la musique. Avant l'existence de la notation musicale, les chansons étaient transmises oralement et mémorisées grâce à des techniques de mémorisation qui ressemblaient à celles utilisées dans l'Antiquité pour la poésie épique [793].

Les mélodies monophoniques étaient composées de formules qui étaient utilisées de manière répétée dans de nombreuses combinaisons différentes, facilitant ainsi la mémorisation. Les troubadours, par exemple, mémorisaient la poésie en intégrant la musique pour la représentation. La poésie lyrique des troubadours était une reconstruction et une composition pour chaque représentation. La composition était donc subordonnée à la performance et à ce qui était possible par la mémorisation. Cette approche aurait laissé une place à l'improvisation et à la création à partir d'indices musicaux et verbaux de soutien [124].

Les neumes sont apparus vers le VIII<sup>e</sup> ou le IX<sup>e</sup> siècle comme un aide-mémoire écrit pour l'expression musicale. Il s'agissait des signes qui s'ajoutaient à l'écriture des mots en Europe et dans la culture byzantine. Ils étaient des dispositifs permettant d'unifier des chants et des hymnes très variés (surtout de l'église et souvent pour des raisons politiques, notamment pendant l'empire de Charlemagne). Ces signes qui accompagnaient les paroles (au début dérivé des accentuations grammaticales) n'avaient pas de lignes de portée et étaient donc



sujets à interprétation et à imprécision [472].

Le déplacement de l'importance de la mémoire et de la tradition orale de la musique vers la valeur de la notation musicale comme principale ressource pour l'interprétation a commencé à se produire vers le 13<sup>e</sup> siècle, de même que les traditions rhétoriques et les textes [540]. La partition est devenue la version la plus correcte et la plus importante de la pièce. Même si cette approche à la musique est née de l'invention des neumes, à l'époque de sa création, elle était aussi importante que les connaissances auditives acquises grâce à l'entraînement, à l'improvisation et à la composition guidée par les compétences auditives. Cependant, les progrès de l'imprimerie et le déclin de l'improvisation au milieu du 19<sup>e</sup> siècle ont permis de mettre davantage l'accent sur la lecture dans l'enseignement de la musique. Cela a conduit à une instruction musicale formelle occidentale où le musicien reproduit plutôt que reconstruit et interprète les pièces musicales [556].

La fidélité à la partition est l'un des grands principes de l'enseignement de la musique classique [375]. Cet aspect, ainsi que la nécessité de jouer le répertoire par cœur (qui n'est pas non plus la norme) de manière parfaite, rendent différente l'utilisation de la mémoire que dans la plupart des cultures musicales occidentales et non occidentales. La musique traditionnelle, la musique pop et surtout le jazz s'articulent autour de la notion de modification majeure ou mineure des pièces du répertoire en fonction de l'expression de l'artiste à un moment donné [75, 512, 78]. Le rôle de la mémoire (même de son inexactitude) et de l'improvisation pourrait être directement lié à la riche variété de styles dans chacune de ces cultures musicales.

### **La mémoire musicale dans la littérature scientifique**

La littérature scientifique distingue la mémoire à court terme, la mémoire de travail et la mémoire à long terme [167]. La mémoire à long terme est une vaste réserve de connaissances et un enregistrement d'événements antérieurs. La mémoire à court terme fait référence aux facultés de l'esprit humain qui peuvent retenir temporairement une quantité limitée d'informations. La mémoire de travail est un système cognitif à capacité limitée qui peut retenir temporairement

des informations. Elle permet la manipulation des informations stockées, alors que la mémoire à court terme ne fait référence qu'au stockage à court terme des informations.

La mémoire à long terme comprend à la fois une connaissance déclarative ou explicite concernant les faits et les événements, et une mémoire procédurale ou implicite spécialisée dans les actions et les informations non verbales [155]. À partir de 1972, la mémoire déclarative a été séparée entre la mémoire épisodique, liée aux événements de la vie quotidienne, et la mémoire sémantique, liée aux connaissances générales du monde, telles que les faits, les idées et les concepts [311]. La mémoire procédurale s'acquiert par essais et erreurs. Elle est plus lente à acquérir mais une fois cette connaissance assimilée, les compétences peuvent être exécutées rapidement [465]. Bien que toute la mémoire procédurale soit implicite, toute la mémoire non déclarative et implicite n'est pas procédurale, comme le *priming*, les formes simples de conditionnement, l'apprentissage perceptuel, entre autres [745]. La mémoire procédurale est liée à l'acquisition de compétences. Les compétences se distinguent des connaissances par le fait qu'il s'agit d'un comportement organisé, orienté vers un but, acquis par la pratique et exécuté avec économie d'effort [394].

La « mémoire musicale » n'a pas fait l'objet d'une étude spécifique jusqu'à récemment, par rapport à d'autres types de mémoire qui ont été étudiés séparément [640]. À la question de savoir s'il existe une mémoire musicale spéciale et distincte, la réponse semble être qu'au lieu d'une mémoire musicale spécialisée, il semble exister un réseau de « mémoires musicales ». La preuve de cette affirmation est que la détérioration d'un type spécifique de mémoire ne semble pas affecter certains aspects liés à la perception et à l'exécution de la musique. L'idée que la mémoire musicale peut être préservée chez les patients atteints de la maladie d'Alzheimer a été largement étudiée [45]. En général, la musique semble faire un usage interdépendant de différents aspects de la mémoire.

Les résultats d'une étude menée par Melissa Gerber Knecht indiquent qu'il existe un lien entre l'expertise et la mémoire [431]. Dans cette étude, un groupe d'experts et de novices ont mémorisé des motifs mélodiques à l'oreille. Il y avait une grande différence (en faveur des experts) entre les experts et les novices pour les mélodies liées au style de musique classique occidentale. Cependant, pour les

motifs de musique occidentale non classique, il y avait peu de différence entre les deux groupes. Cela signifierait que la mémorisation de la musique serait améliorée par l'expérience mais liée à un style spécifique. Dans ce sujet il est intéressant noter que la mémoire du style musical est cultivée implicitement chez les auditeurs [783, 180] par l'écoute répétée mais aussi par la pratique dans l'exécution [467] chez les interprètes.

Un aspect intéressant du rôle de la mémoire dans la musique est le lien avec la mémoire verbale. Des preuves solides suggèrent que les ressources cognitives pour le traitement des informations verbales sont influencées positivement par la formation musicale [250, 764]. En fait, un article a conclu que l'entraînement musical pendant l'enfance peut avoir des effets positifs à long terme sur la mémoire verbale [125]. Cette théorie a conduit également à des interventions basées sur la musique chez les personnes âgées, qui ont donné des résultats positifs significatifs en matière d'amélioration de la mémoire [203]. Ce lien nous permet de déduire l'utilisation des mêmes systèmes pour la musique et le langage [248].

En raison de la nature de la formation musicale formelle dans les conservatoires occidentaux, le rôle de la partition est d'une grande importance. Dû au fonctionnement de la lecture, les mécanismes de la mémoire sont primordiaux pour accéder facilement aux informations contenues dans la partition. La lecture consiste à reconnaître des motifs familiers sur la page et à reconstruire dans sa tête les sons musicaux qui correspondent à la partition [467]. Ces actions nécessitent que la notation graphique et les sons aient été stockés dans la mémoire à long terme afin d'être utilisés par la mémoire de travail. En ce sens, la lecture de la musique peut être un aspect de la « récréation » interne du morceau.

En fait, le lien entre la lecture et la mémoire, en particulier la mémoire auditive, semble être clair dans les études sur la lecture à vue [552]. Ces résultats mettent en évidence que la lecture à vue est considérée comme une compétence musicale qui s'améliore avec les connaissances musicales de l'interprète plutôt que comme un simple processus de décodage visuo-moteur. Ce qui commence par un effort conscient pour apprendre les symboles de la notation musicale devient une compétence automatique avec la pratique.

Dans de nombreux cas, la physicalité de la musique est souvent perdue ou

négligée au profit des stimuli cognitifs et auditifs. Cependant, la mémoire musicale a une grande composante liée à la connaissance kinesthésique. La façon dont la musique est produite par les mouvements musculaires peut favoriser la création et le stockage de nouvelles connaissances sous forme de mémoire procédurale [458]. Dans le processus d'apprentissage d'un morceau, ou même lorsqu'on apprend à jouer d'un instrument pour la première fois, une transition se produit entre la phase volontaire, laborieuse et lente de l'apprentissage et une façon de jouer apprise et plus aisée. L'apprentissage des habiletés motrices est considéré comme une forme implicite de connaissance (indépendant de l'apprentissage déclaratif), car le mouvement du corps représente une connaissance pré-réflexive [397]. Cette utilisation de la mémoire procédurale pour l'apprentissage de la musique est largement soutenue par les théories de la cognition et l'apprentissage incarné [16].

Lorsqu'il s'agit d'interpréter de la musique en public, l'expérience montre qu'un autre type de mémoire est nécessaire pour avoir confiance en soi ; elle implique une approche plus consciente et analytique de la structure d'une œuvre musicale. Le musicien crée une sorte de carte mentale du morceau. Cela permet à l'interprète de savoir à tout moment où il se trouve dans le morceau et de ne pas dépendre des repères pour connaître la suite. Une telle mémorisation est beaucoup plus sûre que celle qui dépend uniquement de processus automatiques, mais elle présuppose un degré élevé de familiarité avec le style de musique. Cette familiarité est nécessaire pour que les notes puissent être facilement regroupées en unités significatives de motifs, de phrases et de sections plus larges qui forment la structure globale du morceau [839].

Comme le suggère la recherche, la mémoire musicale, comme la mémoire en général, est une faculté à multiples facettes. De plus, à certains égards, elle fonctionne de manière contraire à ce que l'on peut supposer. Par exemple, il semblerait logique de penser que moins on a d'informations à mémoriser, plus le processus est facile. Cependant, la recherche montre le contraire : des informations supplémentaires, sous la forme de suggestions de différentes façons de penser aux informations à retenir, aident à la mémorisation, alors que la simple répétition ne le fait pas [704]. Cela signifie qu'une approche holistique qui intègre la mélodie, le rythme et tout ce qui donne à un morceau de musique son

caractère global et sa signification, n'alourdit pas la mémoire musicale, mais la facilite au contraire. Cette approche aide à regrouper les informations en unités significatives pour permettre une mémorisation plus facile des informations.

La mémoire musicale s'est également avérée être fortement liée aux indices contextuels. La musique peut évoquer des souvenirs d'informations autobiographiques et épisodiques. La musique s'est révélée capable d'intégrer facilement les émotions aux souvenirs [390]. Comme on l'a déjà théorisé, des souvenirs plus forts sont liés à des réponses émotionnelles fortes [415]. La musique peut donc potentiellement améliorer l'apprentissage grâce à sa capacité à transmettre des informations émotionnelles (très souvent sans contenu déclarative). En raison de la réponse du système cognitif à la musique, il est possible que la musique pourrait améliorer d'autres tâches cognitives ou la récupération après un accident vasculaire cérébral.

### 3.3.5 L'imagerie mentale

L'image mentale et la représentation mentale sont reconnues par Xavier Lameyre comme ayant un champ sémantique commun [459]. Partant du mot *imago* en latin, le concept a identifié la représentation visuelle d'un paysage dans un tableau, un masque représentant un personnage, un réflexe ou encore une métaphore. De manière simple, il pourrait s'agir d'une représentation mentale d'une réalité matérielle. Selon l'Encyclopédie Stanford de Philosophie elle est une expérience « quasi-perceptuelle » qui a lieu en l'absence de stimuli externes [575].

Malgré la connotation visuelle du mot « imagerie », cette expérience peut faire référence à d'autres modes sensoriels que la vision, comme lorsqu'on imagine un son, une sensation, une odeur ou une saveur. Ces représentations peuvent agir à la fois comme des reconstructions du passé et comme des anticipations du futur, et sont donc liées à la fois à la mémoire et à la créativité. Pourtant, l'imagerie visuelle ainsi que l'imagerie motrice ont retenu l'attention en raison des impacts perçus dans l'amélioration des performances des activités corporelles [196]. Les implications de ce type de recherche dans les sports et les arts vivants ont créé une vaste littérature qui a permis d'identifier les processus mentaux impliqués

et leur interaction [722].

L'imagerie est considérée comme capable d'améliorer les performances, car elle est censée être liée à la fois aux capacités prédictives et créatives de notre esprit. La prédiction est d'une importance capitale dans notre vie quotidienne. Cette prédiction nous rend dépendants des habitudes jusqu'à 43% du temps pour effectuer les tâches quotidiennes [845]. Pour faire ces prédictions, nous utilisons l'imagerie mentale afin de simuler des situations spécifiques et d'observer leurs résultats possibles. Nous construisons des réalités hypothétiques dans notre esprit afin de juger de la meilleure ligne de conduite à adopter dans une situation donnée. La créativité fait appel de la même manière à l'imagerie, qui non seulement rappelle, mais aussi modifie et recombine les informations perceptives de manière nouvelle, dans une interaction entre mémoire, émotion, perception et action [127].

Le lien entre l'imagerie, la perception et l'action est un facteur qui justifie l'utilisation de l'imagerie pour améliorer les performances. Les images accompagnent inévitablement la perception et le souvenir, car nous formons des « images perceptives » lorsque nous percevons, et des « images rappelées » lorsque nous évoquons des souvenirs du passé [149]. Les représentations mentales sont incorporées à la perception. Dans l'autre sens, il existe une étroite intégration entre l'imagerie et l'action. Cela signifie que pour le cerveau, une action simulée et une action exécutée sont perçues de manière similaire. Des preuves en neuro-imagerie montrent des mécanismes cérébraux partagés entre l'imagerie, la perception et l'action [437].

Dans le contexte de la musique, l'imagerie prend une connotation complexe car l'expérience musicale a une représentation multimodale dans le cerveau [871]. Ainsi, l'imagerie musicale est décrite comme la capacité d'entendre ou de recréer des sons dans l'esprit en l'absence d'un stimulus sonore. Cette compétence a des implications directes et indirectes dans probablement tous les aspects de la perception, de l'interprétation et de la création musicale.

Le processus d'imagerie auditive a été décrit par des musiciens et des compositeurs tels que Mozart, Berlioz, Tchaikowsky, Wagner, Schuman et d'autres [11]. On peut également dire qu'il s'agit de l'aptitude qui a permis à Beethoven de travailler alors que son sens de l'audition ne cessait de se détériorer [824].

Plusieurs professeurs de musique ont souligné la valeur de l'écoute et de la manipulation des sons dans l'esprit avant même d'apprendre à jouer d'un instrument. Les créateurs de la pédagogie active (ou critique) pour l'enseignement de la musique comme Kodaly, Orff, Martenot, Gordon, Jaques-Dalcroze, Williams, Suzuki et d'autres ont été de grands précurseurs de cette idée. Dans leur approche, ils préconisaient de traiter le contenu musical à partir de domaines sensoriels multiples afin d'obtenir un engagement fort [5].

Dans cette perspective, donner un sens aux sons musicaux et comprendre la musique sont rendus possibles par l'imagerie auditive, qui est considérée comme l'équivalent musical de la réflexion par le langage. L'imagerie auditive (le mot utilisé par Gordon est « l'audiation ») est donc considérée comme la capacité sous-jacente à toute activité musicale, et est caractérisée comme « le fondement de la musicalité ». Gordon a même distingué différents types d'audiation en fonction du type d'activité musicale dans laquelle on s'engage : écouter, lire, écrire, se souvenir, créer et improviser [567].

### 3.4 Ergonomie cognitive

Pour améliorer l'apprentissage à travers les outils numériques, il est essentiel de les évaluer par rapport aux utilisateurs humains.

L'ergonomie est née à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle, lorsque les machines exigeaient plus que les capacités humaines ne pouvaient en supporter [558]. Ce décalage a provoqué des accidents et des blessures, et l'ergonomie visait à combler ce fossé en concevant des machines adaptées aux limitations humaines. Si l'ergonomie a joué un rôle positif, le défi persiste en raison de la complexité technologique toujours croissante. En remontant plus loin, la révolution industrielle a amorcé une longue tendance à l'amplification des capacités humaines par les machines, faisant passer la production des maisons aux usines équipées de machines puissantes et précises. La révolution de l'information a étendu cette amplification au traitement de l'information, la technologie prenant en charge les tâches de base et exigeant de nouvelles compétences telles que la vigilance et la résolution de problèmes. À mesure que la technologie progresse, l'ergonomie reste essentielle pour assurer une bonne adéquation entre les humains et les machines qu'ils

utilisent.

L'ergonomie, fondamentalement, concerne l'étude ou la science du travail. Dans des termes contemporains, l'ergonomie est communément définie comme un ensemble de connaissances sur les capacités, les limitations et les caractéristiques humaines pertinentes pour la conception d'outils, de tâches et d'environnements pour une utilisation humaine sûre, confortable et efficace [246]. Une autre perspective caractérise l'ergonomie comme « la science appliquée de la conception d'équipements, en particulier pour le lieu de travail, visant à maximiser la productivité en réduisant la fatigue et l'inconfort des opérateurs. » [74] Les deux définitions soulignent deux aspects clés de l'ergonomie : la situation de l'humain au travail et les résultats du travail. Ces aspects sont interdépendants ; la qualité des résultats du travail, tels que la productivité maximale, repose sur la qualité des conditions de travail. L'ergonomie classique, également connue sous le nom d'ergonomie industrielle ou de biomécanique occupationnelle, se concentre sur les aspects physiques du travail et les capacités humaines telles que la force, la posture et la répétition. En revanche, l'ergonomie cognitive, également appelée ingénierie des facteurs humains aborde les aspects psychologiques du travail, explorant comment le travail impacte l'esprit et vice versa, ainsi que se concentrant sur la qualité des résultats du travail.

L'ergonomie cognitive se penche sur la relation dynamique entre notre esprit et le travail que nous effectuons. Contrairement à la psychologie cognitive, qui explore la pensée humaine en général, l'ergonomie cognitive examine spécifiquement comment nos pensées influencent les performances au travail (résolution de problèmes, apprentissage) et comment notre environnement de travail affecte notre état mental (fatigue, attention) [358]. Ce domaine se préoccupe particulièrement d'identifier les situations pouvant conduire à des résultats de travail négatifs. En comprenant les facteurs à l'origine de ces problèmes, les ergonomes cognitifs cherchent à développer des solutions permettant de les prévenir ou d'en minimiser l'impact. Si certaines connaissances en cognition humaine sont utiles, l'accent est mis sur les capacités de réflexion combinées des humains et des systèmes avec lesquels ils travaillent (interaction homme-machine). Cet accent sur la conception des outils et l'environnement de travail dans son ensemble distingue l'ergonomie cognitive de la psychologie cognitive.



Avant de traiter directement les principes d'ergonomie du logiciel nous allons analyser la théorie de la charge cognitive, ces principes et la théorie de l'apprentissage multimédia.

### 3.4.1 Théorie de la charge cognitive

Alors que d'innombrables méthodes existent pour catégoriser les connaissances, seules celles nécessitant des approches pédagogiques distinctes sont pertinentes dans la conception pédagogique. La classification de Geary [289] des connaissances biologiquement primaires et secondaires, ancrée dans la théorie de l'évolution, est particulièrement significative. Les connaissances biologiquement primaires, développées au fil des générations, incluent des compétences telles que la reconnaissance faciale, l'acquisition de langues et les stratégies de résolution de problèmes, caractérisées par leur nature innée et modulaire, permettant une acquisition rapide sans instruction explicite. En revanche, les connaissances biologiquement secondaires, essentielles pour l'adaptation culturelle, telles que l'alphabétisation, exigent des efforts d'enseignement délibérés en raison de leur nature non innée. Bien que les connaissances primaires et secondaires soient distinctes, notre apprentissage implique souvent une fusion des deux, les connaissances primaires facilitant souvent l'acquisition des connaissances secondaires.

#### Principes de la théorie

La théorie de la charge cognitive se concentre principalement sur l'acquisition de connaissances biologiquement secondaires. La manière dont nous traitons les informations liées à l'acquisition de connaissances secondaires est déterminée par l'architecture cognitive humaine. Contrairement à l'acquisition modulaire de chaque exemple de connaissances biologiquement primaires, qui se produit de manière indépendante, notre architecture cognitive a évolué pour traiter les informations secondaires de manière généralisée. Cette architecture cognitive partage des principes fondamentaux avec les mécanismes de traitement de l'information de l'évolution biologique, tous deux étant des systèmes de traitement de l'information naturels. Bien qu'il existe différentes descriptions des caracté-

ristiques de traitement de l'information de l'architecture cognitive humaine et de la biologie évolutive, la théorie de la charge cognitive repose généralement sur cinq principes de base [604].

- **Le principe du stockage de l'information** souligne le rôle essentiel de la mémoire à long terme dans la cognition humaine, analogue à la fonction du code génétique dans l'évolution biologique. La mémoire à long terme, acquise au fil du temps par l'apprentissage, influence fortement les processus cognitifs, avec son réservoir d'informations biologiquement secondaires façonnant presque toutes les activités cognitives humaines. Les études, notamment dans l'expertise aux échecs, mettent en évidence la vaste capacité de la mémoire à long terme, où les experts montrent un rappel supérieur des états-problèmes dans leur domaine. Ce réservoir de connaissances biologiquement secondaires permet la fluidité et la performance experte, la conception pédagogique visant à faciliter l'acquisition de cette expertise par les apprenants grâce à des modifications ciblées dans la mémoire à long terme.
- **Le Principe de l'Emprunt et de la Réorganisation** Notre cerveau, tout comme les gènes, accumule des informations en « empruntant » et en réorganisant. Les gènes empruntent à leurs ancêtres, tandis que nous empruntons des connaissances aux autres en imitant, en écoutant et en lisant. Le principe de l'emprunt et de la réorganisation postule que les humains ont évolué pour acquérir des informations auprès d'autres individus par le biais de l'imitation, de l'écoute et de la lecture. À travers ces processus, de nouvelles connaissances biologiquement secondaires sont assimilées à partir de sources externes et intégrées aux connaissances existantes, modifiant ainsi le contenu de la mémoire à long terme. Il est à noter que notre capacité innée à acquérir des informations biologiquement secondaires par l'imitation et l'écoute ne nécessite pas d'enseignement explicite, car il s'agit d'une tâche biologique primaire. Cependant, apprendre à acquérir des informations par la lecture, ainsi que des tâches associées telles que la navigation dans les bibliothèques ou sur Internet, doit être enseigné comme une tâche secondaire. La distinction entre la primauté biologique de l'écoute et la nature secondaire de la lecture peut contribuer à des

phénomènes comme l'effet de modalité. Les vastes réservoirs de connaissances biologiquement secondaires stockées dans la mémoire à long terme ne pourraient pas être acquis efficacement sans le principe de l'emprunt et de la réorganisation.

- **Le Principe de la Génération Aléatoire comme Génèse** Lorsqu'une espèce est confrontée à un environnement changeant, son évolution pour s'adapter n'est pas prédéterminée ; au contraire, les variations entre les espèces et les individus découlent de mutations aléatoires. L'évolution par sélection naturelle fonctionne par un processus de génération aléatoire et de test, où les mutations efficaces conduisent à une augmentation de la descendance, tandis que les mutations inefficaces entraînent moins de descendants, voire aucun. De même, la résolution de problèmes humains, notamment lorsqu'il s'agit de tâches nouvelles telles que la navigation sur le Web, suit une logique similaire de génération aléatoire suivie de tests d'efficacité. Ce composant aléatoire est inhérent aux processus de résolution de problèmes lorsqu'il s'agit de matériel non familier. Les procédures de génération aléatoire et de test illustrent une tâche biologiquement primaire qui ne nécessite pas d'enseignement explicite mais peut être utilisée dans des tâches biologiquement secondaires. Les humains ont évolué pour utiliser de tels processus naturellement, bien que des applications spécifiques puissent nécessiter d'être soulignées pour des tâches secondaires particulières.
- **Le principe des Limites Étroites du Changement** illustre comment les systèmes de traitement de l'information sont confrontés à des contraintes dans la manipulation d'éléments nouveaux, les systèmes plus petits étant souvent plus efficaces en raison de la gérabilité des permutations. Le fonctionnement cognitif humain, facilité par la mémoire de travail, est soumis à des limitations en termes de capacité et de durée lorsqu'il s'agit de traiter de nouvelles informations biologiquement secondaires. Cette contrainte pourrait avoir évolué pour éviter le chaos potentiel résultant de combinaisons incommensurables d'éléments. Les changements progressifs sont favorisés pour éviter de perturber la fonctionnalité de la mémoire à long terme. Une structure analogue existe en biologie évolutive avec le

système épigénétique, qui, comme la mémoire de travail, régule le rythme et l'emplacement des mutations génétiques pour garantir la fonctionnalité du système. Ce principe souligne la nécessité d'altérations graduelles de la mémoire pour maintenir sa fonctionnalité.

- **Le principe d'organisation environnementale et de liaison** met en lumière l'interaction complexe entre les informations stockées et les actions adaptatives dans l'environnement externe au sein d'un système naturel de traitement de l'information, principalement médiée par la mémoire de travail et le système épigénétique. Ce principe illustre comment l'architecture cognitive humaine a évolué pour établir des relations cruciales entre la mémoire à long terme et la mémoire de travail, essentielles pour la fonctionnalité cognitive et les théories de conception pédagogique. En exploitant le potentiel transformateur des informations biologiquement secondaires stockées dans la mémoire à long terme, les individus peuvent aspirer à des réalisations intellectuelles. Notamment, alors que les limitations de la mémoire de travail sont apparentes lors du traitement d'informations sensorielles nouvelles, elles deviennent insignifiantes lors de l'accès à des données organisées de la mémoire à long terme, ce qui augmente considérablement la capacité de la mémoire de travail. La notion de mémoire de travail à long terme d'Ericsson et Kintsch [238] délimite des modes de traitement distincts en fonction de la source de l'information. Cette relation entre la mémoire de travail et la mémoire à long terme varie le long d'un continuum, mettant en évidence la diminution de la signification des limitations de la mémoire de travail à mesure que la familiarité avec les informations stockées augmente. De manière analogue, l'interaction entre les systèmes épigénétique et génétique reflète celle entre la mémoire de travail et la mémoire à long terme, éclairant comment l'utilisation sélective des informations génétiques module l'activité cellulaire, similaire à l'utilisation par la mémoire de travail des informations de la mémoire à long terme. Cette analogie souligne le rôle crucial de la mémoire à long terme dans le façonnement des processus cognitifs, similaire au rôle du système épigénétique dans la différenciation cellulaire.

Contrairement à la mémorisation par cœur, une véritable compréhension repose sur la construction de liens solides entre les informations stockées dans la mémoire à long terme. Pour comprendre un sujet complexe, il faut organiser ces informations afin que tous les éléments essentiels puissent être traités ensemble dans la mémoire de travail. Cela ressemble à la façon dont la vaste connaissance des lettres et de leurs combinaisons qu'un lecteur possède lui permet de déchiffrer sans effort un texte écrit. En fin de compte, toutes les formes de connaissance, de la lecture à l'expertise aux échecs, dépendent de ce riche réseau d'informations stockées dans la mémoire à long terme [604].

### **Catégories de charge cognitive**

La théorie de la charge cognitive, ainsi que les principes pédagogiques qui en découlent, reposent sur la compréhension de l'architecture cognitive humaine, se concentrant particulièrement sur la mémoire de travail et la mémoire à long terme. Cette théorie distingue trois catégories de charge cognitive : la charge cognitive intrinsèque, extrinsèque et germane, toutes tournant autour de l'acquisition, de la rétention et de l'utilisation d'informations biologiquement secondaires.

- La charge intrinsèque est la difficulté de la matière elle-même, due au degré d'interconnexion des informations. Par exemple, apprendre des traductions simples de mots dans une langue étrangère est facile car chaque mot peut être appris séparément. En revanche, comprendre la structure correcte des phrases nécessite de considérer tous les mots et leurs relations en même temps, ce qui est plus difficile. Cette charge intrinsèque ne peut pas être modifiée de manière significative, mais nous pouvons diviser des informations complexes en éléments plus petits pendant l'apprentissage.
- La charge extrinsèque est causée par de mauvaises méthodes d'enseignement qui obligent les apprenants à traiter des informations inutiles. Cela gaspille de l'espace dans la mémoire de travail qui pourrait être utilisé pour apprendre la matière elle-même. Il existe de nombreuses façons de concevoir l'enseignement pour réduire cette charge extrinsèque, comme

discuté dans d'autres chapitres de ce livre.

- La charge germane est la situation idéale où la mémoire de travail se concentre sur l'apprentissage de la matière elle-même (charge intrinsèque) et n'est pas gaspillée sur des informations non pertinentes (charge extrinsèque). Plus la mémoire de travail est utilisée pour la charge germane, meilleur est l'apprentissage. Les charges extrinsèque et intrinsèque s'additionnent. Idéalement, nous voulons minimiser la charge extrinsèque pour libérer de la mémoire de travail pour la charge germane. Cependant, pour du matériel très simple, même un enseignement médiocre pourrait ne pas surcharger la mémoire de travail. En revanche, pour du matériel complexe, un bon enseignement est crucial pour éviter de surcharger la mémoire de travail. C'est pourquoi les effets négatifs d'un mauvais enseignement sont plus évidents avec des sujets complexes.

### **Théorie de l'apprentissage multimédia**

Les gens apprennent plus profondément à partir de mots et d'images que de mots seuls. Cette assertion, que l'on peut appeler le principe multimédia, sous-tend une grande partie de l'intérêt pour l'apprentissage multimédia [525]. Depuis des milliers d'années, les mots ont été le principal format d'instruction - y compris les mots parlés et, au cours des dernières centaines d'années, les mots imprimés. Aujourd'hui, grâce aux progrès des technologies informatiques et de communication, les formes d'instruction picturales deviennent largement disponibles, y compris les éblouissantes graphiques informatiques. Cependant, ajouter simplement des images aux mots ne garantit pas une amélioration de l'apprentissage - autrement dit, toutes les présentations multimédias ne sont pas également efficaces. Richard Mayer a présenté une théorie visant à comprendre comment utiliser les mots et les images pour améliorer l'apprentissage humain. Une hypothèse fondamentale sous-tendant la recherche sur l'apprentissage multimédia est que les messages pédagogiques multimédias conçus en tenant compte du fonctionnement de l'esprit humain sont plus susceptibles de conduire à un apprentissage significatif que ceux qui ne le sont pas.

La façon dont les présentations multimédia sont conçues révèle les hypothèses

du créateur sur la façon dont les gens apprennent. Une présentation flashy et pleine d'informations suppose que les apprenants disposent d'un canal unique pour assimiler l'information (comme la vue ou l'ouïe) et d'une capacité illimitée à tout absorber passivement. Cependant, la recherche montre que ce n'est pas ainsi que fonctionne l'esprit humain.

La théorie de l'apprentissage multimédia s'appuie sur trois principes :

- Doubles canaux : Les apprenants peuvent traiter l'information par la vue et l'ouïe simultanément (comme lire et écouter).
- Capacité limitée : Notre capacité à traiter de nouvelles informations est limitée, donc surcharger les apprenants est contre-productif.
- Traitement actif : Les apprenants ne sont pas des récepteurs passifs. Ils organisent et donnent activement un sens aux informations qu'ils rencontrent.

La mémoire de travail est comme un espace de travail temporaire dans notre esprit. C'est là que nous jonglons et traitons activement l'information. Cet espace de travail reçoit des informations par deux canaux : la vue et le son (visuel et auditif) [525]. Nous pouvons conserver des images visuelles (comme des images) et des sons (comme des mots) dans notre mémoire de travail pendant une courte durée. Nous utilisons également la mémoire de travail pour établir des liens entre ces informations. Par exemple, lorsque vous entendez le mot « chat », vous pouvez imaginer un chat dans votre esprit (conversion du son en image). La mémoire de travail ne peut pas tout gérer en même temps, il est donc important de gérer la quantité d'informations présentées. Enfin, la mémoire de travail se connecte à notre mémoire à long terme, qui est un vaste entrepôt de connaissances. Nous pouvons extraire des informations de la mémoire à long terme et les amener dans la mémoire de travail pour y réfléchir activement.

Selon Mayer, pour parvenir à un apprentissage significatif dans un environnement multimédia, les apprenants doivent s'engager dans cinq processus cognitifs : (1) sélectionner les mots pertinents pour les traiter dans la mémoire de travail verbale, (2) choisir les images pertinentes pour les traiter dans la mémoire de travail visuelle, (3) organiser les mots sélectionnés dans un modèle verbal, (4) organiser les images sélectionnées dans un modèle pictural, et (5) fusionner les représentations verbales et picturales entre elles et avec les connaissances

antérieures pertinentes récupérées de la mémoire à long terme. Bien que ces processus soient présentés sous forme de liste, ils ne se déroulent pas nécessairement dans une séquence linéaire, permettant aux apprenants de passer de l'un à l'autre de différentes manières. L'apprentissage multimédia réussi dépend de la capacité de l'apprenant à coordonner et à surveiller efficacement ces cinq processus.

### **Principes de conception pédagogique tirés de la théorie de la charge cognitive**

Les recherches sur la théorie de la charge cognitive ont permis de développer des principes de conception pédagogique pour réduire la charge cognitive inutile et ainsi optimiser l'apprentissage. Ces principes incluent l'effet d'exemple élaboré, l'effet de division de l'attention, l'effet de modalité et l'effet de redondance. L'effet d'exemple élaboré suggère que les apprenants novices bénéficient davantage d'exemples détaillés que de problèmes à résoudre, car ils peuvent se concentrer sur les étapes clés plutôt que de les découvrir eux-mêmes, réduisant ainsi la charge sur la mémoire de travail [759]. L'effet de division de l'attention indique que la présentation simultanée de plusieurs sources d'informations visuelles est préférable à leur séparation, ce qui évite à l'apprenant de devoir les combiner mentalement [39]. L'effet de modalité suggère que l'utilisation d'explications orales (auditives) peut réduire la charge cognitive par rapport au texte écrit (visuel), en exploitant les canaux de traitement distincts du cerveau pour le son et la vue [495]. Enfin, l'effet de redondance met en garde contre la présentation multiple de la même information sous différentes formes, car cela crée une charge mémoire inutile [523]. La mise en œuvre de ces principes de conception pédagogique peut contribuer à améliorer l'efficacité de l'apprentissage en réduisant la charge cognitive parasite et en favorisant une utilisation plus efficace de la mémoire de travail.

Au-delà de la réduction de la charge cognitive parasite, la recherche a identifié des méthodes pédagogiques qui favorisent la charge cognitive germane, l'effort mental souhaitable dédié à l'apprentissage lui-même. Cela inclut l'effet de variabilité, où le fait d'être exposé à des variations d'un concept à travers des exemples élaborés augmente la charge cognitive et améliore l'apprentissage



[606]. De plus, inciter les étudiants à relier des éléments spécifiques d'exemples à des idées plus larges les aide à construire des cadres mentaux (schémas) pour la compréhension [34]. Encourager les apprenants à expliquer leur raisonnement (auto-explication) et leur donner un certain contrôle sur les tâches qu'ils choisissent (contrôle de l'apprenant) peut également favoriser la charge cognitive germane et approfondir leur compréhension de la matière [746].

Les principes d'ajustement de la charge cognitive intrinsèque dans des contextes d'apprentissage hautement complexes ont été explorés par Pollock, Chandler et Sweller [643], qui ont proposé de présenter initialement les informations sous forme d'éléments isolés, permettant aux apprenants de les traiter séquentiellement, avant d'introduire tous les éléments simultanément, y compris leurs connexions. Cette approche en deux étapes s'est révélée plus propice aux résultats d'apprentissage par rapport à la présentation de toutes les informations en une seule fois. En ce qui concerne les caractéristiques des apprenants, les niveaux d'expertise jouent un rôle important, comme le notent Ayres et Van Gog [40]. L'effet de renversement de l'expertise suggère que les formats pédagogiques efficaces pour les novices peuvent perdre en efficacité voire inverser leurs effets pour les apprenants plus expérimentés. Seufert, Schütze et Brünken [708] ont étudié l'impact des stratégies individuelles de mémoire et de la capacité de la mémoire de travail sur l'effet de modalité, constatant que les apprenants avec des compétences en mémoire stratégique moins développées ou une capacité de mémoire de travail inférieure bénéficiaient davantage de la présentation auditive de l'information verbale dans certains contextes de tâche. De plus, la motivation est apparue comme un facteur influençant la charge cognitive [605]. Accorder aux apprenants un contrôle sur leurs processus d'apprentissage pourrait améliorer leur motivation, tandis que l'intérêt préalable des apprenants pour un sujet influencerait également leur niveau de motivation [695].

### 3.4.2 Ergonomie du logiciel

Une étude de 1983 menée par Turner et Karasek [797] a mis en évidence le lien entre la conception des logiciels et la santé et la performance des utilisateurs. Ils ont soutenu que la conception des logiciels, au-delà de la simple qualité de

l'écran, a un impact significatif sur la façon dont les utilisateurs interagissent avec les machines et sur la façon dont les tâches sont structurées. Cela affecte à son tour le bien-être et l'efficacité des utilisateurs. Leurs recherches ont examiné les liens existants entre la conception des tâches, les éléments de conception des logiciels et la santé et la performance des utilisateurs. Ils ont conclu que des améliorations de la conception des logiciels, telles qu'une meilleure interaction avec l'utilisateur, une communication plus claire, des systèmes plus petits et moins complexes, et une adaptation des capacités du système aux besoins des utilisateurs, peuvent conduire à une expérience de travail plus saine et plus efficace.

### **Interaction homme-machine**

L'interaction homme-machine (IHM) est un domaine qui a émergé à la fin des années 1970 et au début des années 1980. L'IHM combine différentes disciplines pour se concentrer sur la conception, l'évaluation et la mise en œuvre de systèmes informatiques interactifs destinés aux humains [351]. Ce domaine est né lorsque les ordinateurs sont devenus accessibles aux non-ingénieurs, ce qui a conduit à l'application de l'ergonomie et des facteurs humains à la conception de dispositifs d'interaction conviviaux.

L'expertise en psychologie cognitive a ensuite contribué au développement des langages de commande et des menus. Au milieu des années 1980, l'accent s'est élargi pour inclure les usages pédagogiques des ordinateurs, tels que les environnements d'apprentissage interactifs et les simulateurs de formation.

Les années 1990 ont vu les technologies de réseau et les appareils mobiles étendre la recherche en IHM au-delà des utilisateurs individuels et des ordinateurs personnels. L'objectif est alors devenu de concevoir des systèmes interactifs pour des groupes et des individus dans divers domaines d'application comme le travail, l'éducation et le divertissement, à la maison comme en situation de mobilité. Cette recherche a impliqué la collaboration d'experts en sociologie et en anthropologie [668].

Les théories utilisées pour décrire les processus de pensée humaine dans la Théorie de la Charge Cognitive ont également eu un impact significatif sur

la recherche en interaction homme-machine et sur les concepts clés formés dans les années 1980. Il est largement reconnu dans la conception d'interfaces utilisateur que la mémoire de travail humaine ne peut retenir qu'un nombre limité d'éléments simultanément [668]. Le modèle d'Atkinson et Shiffrin [33] détaillant la mémoire sensorielle, la mémoire à court terme et la mémoire à long terme, ainsi que le modèle à composantes de la mémoire de travail de Baddeley [42], ont influencé le modèle du processeur humain de Card, Newell et Moran [118] concernant l'interaction avec l'ordinateur. Un objectif principal découlant de ces modèles était de minimiser la charge cognitive pour les utilisateurs.

Des domaines spécifiques ont également utilisé des théories cognitives supplémentaires. Par exemple, des recommandations pour la conception de navigateurs web ont été tirées de théories concernant l'attention et la prise de décision [128]. De plus, avec l'émergence des appareils distribués et mobiles, des concepts de cognition distribuée et de cognition externe ont été appliqués. Ces cadres explorent la cognition dans des contextes réels, dans le but de comprendre comment les structures environnementales peuvent aider la cognition et réduire spécifiquement la charge mnésique [668].

La facilité d'utilisation est un aspect fondamental de l'interaction homme-machine, définie par l'Organisation internationale de normalisation comme l'efficacité et la satisfaction avec lesquelles les utilisateurs peuvent accomplir des tâches à l'aide d'un outil. Atteindre une haute facilité d'utilisation nécessite une compréhension approfondie des utilisateurs et de leurs tâches. Diverses directives de convivialité existent, allant des objectifs généraux tels que l'apprentissage et la satisfaction à des principes de conception spécifiques tels que la prévention des erreurs par le biais des options de menu [305]. Quelle que soit la spécificité, un objectif de convivialité commun est de réduire la charge mnésique pour les utilisateurs, grâce à des stratégies telles que l'accent mis sur la reconnaissance plutôt que sur le rappel, la simplification des interfaces et la fourniture de fonctionnalités contextuelles ainsi que de la formation pour les interactions complexes.

Rogers [668] écrivait déjà en 2004 que le domaine de l'interaction homme-machine (IHM) est en pleine expansion, dépassant son objectif initial de créer des systèmes informatiques conviviaux. Cette croissance est motivée par l'explosion

de nouvelles technologies comme Internet, les appareils portables et l'informatique omniprésente. De manière similaire vingt ans après, l'IHM vise à concevoir des expériences pour tout le monde, dans toutes sortes de contextes, de la maison aux espaces publics. Cette vaste étendue crée des défis. Le domaine manque d'un fondement théorique clair et peine à définir son objectif et ses méthodes. De nouvelles approches de conception telles que l'ethnographie et la conception basée sur des scénarios émergent aux côtés de concepts plus larges comme la « conception d'interaction » qui se concentre sur l'expérience utilisateur globale. L'IHM est également aux prises avec de nouveaux paradigmes comme l'informatique omniprésente où la technologie s'intègre de manière transparente à notre environnement. Un débat clé se concentre sur le rôle de la théorie dans l'IHM, certains plaidant pour un solide fondement théorique et d'autres favorisant des méthodes pratiques et empiriques. La théorie IHM est passée de la fourniture d'instructions de conception spécifiques (informative, prédictive, prescriptive) à une compréhension plus large (descriptive, explicative, analytique). Cette nouvelle approche explore plus en profondeur le contexte social et les interactions des utilisateurs, fournissant des études de cas riches et soulignant l'importance de détails apparemment banals. Ces approches ont introduit des concepts de haut niveau précieux tels que la « situation » et le « contexte » qui aident les concepteurs à penser au-delà de l'interface utilisateur unique. Cependant, les cadres d'analyse complexes n'ont pas été facilement adoptés par les praticiens en raison de contraintes de temps et de la courbe d'apprentissage. La question reste de savoir s'il faut simplifier cette traduction des connaissances pour une utilisation pratique ou accepter ces cadres comme outils de recherche et trouver des solutions alternatives pour le guide de conception.

Alors que les applications informatiques se sont développées au-delà du contexte professionnel, des objectifs d'expérience utilisateur (UX) sont apparus en parallèle aux préoccupations traditionnelles de convivialité. L'UX prend en compte des facteurs tels que le plaisir, la motivation, l'esthétique et le soutien à la créativité. Les recherches suggèrent que pour les systèmes de divertissement, des fonctionnalités qui pourraient sembler moins efficaces ou plus difficiles à apprendre (contrairement aux objectifs de convivialité) pourraient être intentionnellement conçues pour stimuler la motivation ou le plaisir [368]. Il existe

un certain chevauchement entre la convivialité et l'UX. La convivialité a un impact direct sur l'expérience utilisateur, et les éléments UX peuvent également influencer la perception de la convivialité.

### **Design de plateformes d'apprentissage**

L'apprentissage joue un rôle crucial en IHM pour les utilisateurs comme pour les logiciels éducatifs. Les utilisateurs doivent apprendre de nouveaux systèmes, tandis que les logiciels éducatifs visent à transmettre des connaissances et des compétences [13]. Pour faciliter l'apprentissage des utilisateurs, les interfaces peuvent s'adapter en limitant initialement les fonctionnalités et en les augmentant au fur et à mesure que l'expertise grandit. Les logiciels éducatifs présentent un défi unique : la convivialité est essentielle aux résultats d'apprentissage, mais elle doit tenir compte des approches pédagogiques. La recherche en IHM aborde ce défi à travers deux axes principaux : l'évaluation de l'efficacité des applications d'apprentissage en ligne et le développement de méthodes centrées sur l'utilisateur qui intègrent à la fois la conception de logiciels et les principes de conception pédagogique. Lors de la conception et de l'évaluation de logiciels éducatifs, les caractéristiques des utilisateurs telles que l'âge, le sexe et les connaissances préalables sont des éléments importants à prendre en compte.

Hollender [357] explique que les deux domaines partagent des idées centrales sur l'apprentissage humain et la réduction de la charge mentale. Alors que l'IHM se concentre traditionnellement sur la minimisation de la charge cognitive, il a récemment été reconnu que la conception peut également favoriser l'apprentissage en l'augmentant intentionnellement. Hollender et son équipe ont suggéré deux modèles conceptuels pour intégrer la TCC et l'IHM dans les logiciels éducatifs. Le premier modèle considère la charge cognitive provenant des logiciels éducatifs comme une partie de la charge cognitive superflue. Cette charge superflue peut être réduite en concevant des logiciels ergonomiques et en formant les utilisateurs. Cependant, les principes d'ergonomie traditionnels ne suffisent pas à eux seuls pour un apprentissage optimal ; des principes pédagogiques sont nécessaires pour promouvoir un apprentissage pertinent. Le deuxième modèle propose d'intégrer les concepts de la TCC dans le concept

même d'ergonomie. Dans les logiciels éducatifs, les utilisateurs sont des apprenants et la tâche est l'apprentissage. Les apprenants ont des caractéristiques variables telles que les connaissances préalables et la motivation. Du point de vue de la TCC, la tâche d'apprentissage consiste à construire et à automatiser des schémas cognitifs, ce qui nécessite une charge cognitive germane. Les trois types de charge cognitive sont impliqués dans l'apprentissage et peuvent être influencés par les principes de conception pédagogique. Les principes d'ergonomie peuvent réduire la charge cognitive superflue liée à l'utilisation du logiciel. La technologie éducative devrait idéalement adapter la charge intrinsèque (par exemple, en attribuant des tâches de difficulté appropriée) pour minimiser la charge superflue et maximiser la charge germane, tout en restant dans les limites de la capacité cognitive de l'apprenant. Ce modèle souligne l'importance de concevoir des logiciels qui donnent la priorité aux processus cognitifs plutôt qu'à la simple réalisation de tâches. Contrairement à la conception de logiciels de travail, une certaine augmentation de la charge cognitive peut être bénéfique dans les contextes éducatifs.

Beale et Sharples [65] écrivent que la convivialité suit un ensemble de principes généraux qui fonctionnent comme des règles empiriques. Ces principes incluent la fourniture de retours d'information clairs et rapides aux utilisateurs, l'utilisation d'un langage simple et l'offre de fonctionnalités telles qu'« annuler » et la cohérence pour éviter la confusion. Des designs simples et esthétiques avec des étapes suivantes claires sont essentiels, tandis que les fonctionnalités pour les experts et une gestion claire des erreurs sont également importantes. Idéalement, un système est si intuitif qu'il ne nécessite pas de documentation, mais si nécessaire, elle doit être bien organisée, concise et directement pertinente à la tâche de l'utilisateur.

La conception de logiciels éducatifs nécessite d'adapter les principes généraux de convivialité à des groupes d'utilisateurs et des objectifs d'apprentissage spécifiques [65]. Le processus central consiste à définir les objectifs pédagogiques, à identifier les besoins d'apprentissage adaptés à l'enseignement assisté par ordinateur et à choisir une approche pédagogique appropriée. La convivialité est essentielle tout au long du processus de conception, les évaluations formatives et sommatives garantissant que le logiciel répond à la fois aux besoins

des utilisateurs et aux objectifs d'apprentissage. Enfin, un déploiement réussi nécessite une formation adéquate et une maintenance continue pour résoudre les problèmes techniques, les changements de ressources et les mises à jour du curriculum.

Beale et Sharples [65] affirment que la conception de logiciels éducatifs reflète différentes approches pédagogiques. Ces approches peuvent être classées en dirigées par l'enseignant ou par l'apprenant, individuelles ou collaboratives, et instructionnelles ou basées sur la découverte. Les logiciels peuvent combiner ces dimensions, mais la conception doit clairement guider le processus d'apprentissage. Par exemple, un système de découverte collaboratif et piloté par l'apprenant nécessiterait des instructions claires sur les stratégies de collaboration et les découvertes potentielles, tandis qu'un système d'enseignement dirigé par l'enseignant, individuel et instructionnel pourrait intégrer ces instructions directement dans le logiciel. En plus de ces idées, les directives de Beale et Sharples décrivent des recommandations spécifiques relatives à l'écran, la navigation, le multimédia, les appareils et l'accessibilité générale en fonction de la technologie du début des années 2000.

Une étude de Campoverde, Mora et Valverde [116] a réalisé une revue systématique d'articles sur l'architecture de développement de logiciels pour sites web éducatifs. La recherche s'est concentrée sur l'apprentissage collaboratif et a identifié l'architecture en couches et l'ingénierie pilotée par les modèles comme les approches les plus courantes. L'architecture en couches est privilégiée pour sa modularité et sa capacité à prendre en charge différents appareils. L'ingénierie pilotée par les modèles réduit les risques de développement et améliore la qualité du logiciel. Les technologies les plus couramment utilisées pour le développement incluent UML, Ruby, HTML et Javascript. La conclusion principale du texte est qu'il existe un besoin et une grande variété d'approches pour que les architectures logicielles des sites Web éducatifs soient conçues conformément aux normes de qualité, aux réglementations et aux lois relatives à l'accessibilité et à l'inclusion, afin de s'adapter au paysage changeant de l'éducation et d'adopter de nouveaux modèles d'enseignement et d'apprentissage. Cet article montre l'importance croissante de ces aspects pour les développeurs et les utilisateurs.

Une revue de 2020 [280] sur le lien entre la technologie éducative et l'engage-

ment des étudiants dans l'enseignement supérieur a révélé que la technologie éducative impacte principalement l'engagement comportemental des étudiants, suivi de l'engagement émotionnel et intellectuel. Cependant, de nombreuses études manquent de fondement théorique, ce qui peut entraver l'interprétation des données et limiter le progrès du domaine. Les méthodes utilisées dans les études reflètent également les tendances existantes. Les méthodes quantitatives dominent, avec moins d'études qualitatives. Cela rend difficile la mesure de l'engagement affectif et cognitif, qui sont moins facilement quantifiables que l'engagement comportemental. L'étude suggère d'utiliser des sondages plus approfondis ou des méthodes qualitatives comme l'ethnographie pour capturer ces aspects. Cette recherche montre que la recherche sur les logiciels éducatifs cible principalement les étudiants de premier cycle en utilisant l'apprentissage mixte et des outils basés sur du texte.

### **Principes de conception**

Les technologies mobiles ont déjà été détournées pour des activités sociales et informelles et pour accéder et créer une riche collection de ressources numériques en ligne. L'éducation n'est plus conçue pour un groupe d'apprenants situés dans un contexte défini ; les enseignants sont plutôt confrontés au défi de concevoir pour des individus qui s'engagent dans leur propre apprentissage, via leurs propres appareils, dans leur propre environnement et selon leurs propres conditions [450]. Les institutions doivent réfléchir non seulement aux technologies à fournir, mais aussi à la manière d'intégrer les appareils, les expériences et les pratiques des apprenants eux-mêmes. Les principes de conception doivent tenir compte des caractéristiques des technologies mobiles et du contexte social dans lequel elles sont appropriées.

Traditionnellement, l'enseignement s'est appuyé sur des technologies existantes (comme les logiciels commerciaux) pour l'apprentissage, garantissant ainsi la stabilité et la protection de la propriété intellectuelle. Cependant, cela limitait les possibilités de conception. Aujourd'hui, la demande des étudiants pour un accès mobile et leur utilisation des réseaux sociaux pour apprendre remettent en question ce modèle [608]. L'accent de la conception doit se déplacer



vers des outils pilotés par les apprenants et les technologies mobiles. Cela donne plus de contrôle aux apprenants et oblige les enseignants à prendre en compte les idéologies intégrées à ces technologies personnelles, créant ainsi un paysage de conception plus complexe.

Auparavant, les technologies éducatives s'appuyaient sur des produits commerciaux porteurs d'idéologies intégrées que les institutions pouvaient accepter ou tenter de contourner [449]. Aujourd'hui, les enseignants doivent tenir compte des idéologies présentes dans les technologies personnelles (réseaux sociaux, jeux mobiles) conçues par des intérêts commerciaux différents (divertissement, médias). Cela crée un paysage de conception fragmenté où les contraintes sont fluides et où les points de vue individuels des élèves sur les idéologies présentes dans leurs appareils deviennent plus importants. L'accent n'est plus mis sur la technologie elle-même, mais sur les changements sociaux et culturels induits par l'apprentissage mobile, notamment les questions d'éthique, les méthodes d'évaluation et les politiques institutionnelles. Ce changement reflète un éloignement des disciplines de conception traditionnelles et de l'héritage de la recherche sur le *e-learning*.

Les appareils mobiles offrent des expériences d'apprentissage personnalisées, situées, authentiques et informelles, idéales pour des environnements pratiques et imprévisibles. Ils facilitent l'apprentissage spontané, s'adaptant aux styles et besoins individuels, et surmontant les obstacles sociaux et culturels en permettant un apprentissage à son propre rythme. L'apprentissage mobile combine les avantages de l'apprentissage formel et informel, enrichi par des technologies comme la VR et la RA. Malgré les défis techniques et budgétaires, il s'avère bénéfique, en particulier pour les étudiants sous pression et ceux ayant des difficultés d'apprentissage, grâce à des fonctionnalités inclusives et un soutien accessible [449]. Dans ce contexte, Kukulska et Traxler proposent les principes suivants :

- Commencez par les apprenants ; explorez leurs aspirations, leur diversité, leurs limitations ; leurs expériences et leurs attentes en matière d'apprentissage, de travail, d'interaction, d'inclusion, d'accès et de technologie.
- Soyez prêt à expérimenter et à abandonner fréquemment des activités à mesure que les technologies évoluent et sont adaptées et appropriées par

- les sociétés et les cultures dans lesquelles nos apprenants sont intégrés.
- Acceptez le « bon pour l’instant » et obtenez le feedback des apprenants ; plus tôt les apprenants pourront vous parler de votre conception dans leur monde, plus vite vous l’améliorerez. Pensez au fait que l’éducation ne représente probablement qu’une petite partie de leurs expériences numériques, même si elle occupe une place importante dans la vôtre, et comment cela façonne leurs attentes.
  - Examinez vos besoins en termes de contenu, de communautés et d’outils et demandez-vous dans quelle mesure vous pouvez organiser, rassembler et adapter avant de vous demander dans quelle mesure vous, ou votre institution, avez besoin de créer et de construire.
  - Reconnaissez que les activités d’apprentissage que vous concevez se dérouleront différemment lorsque les apprenants s’y engageront en dehors de la salle de classe et du campus ; tenez compte des facteurs environnementaux qui peuvent avoir un impact sur l’apprentissage mobile et les résultats d’apprentissage inattendus.
  - Concevez des activités pour aider les apprenants à contribuer autant qu’à consommer du contenu mobile, à développer leurs compétences transférables en matière de pensée critique et de créativité. Recherchez des occasions de création, de prototypage, de participation et d’évaluation avec les apprenants dans leur monde.
  - Concentrez-vous sur la conception de l’expérience éducative ; considérez la fonction de l’artefact éducatif comme faisant partie de cette expérience.
  - Considérez les évaluations et les tâches dans le contexte plus large de l’expérience éducative et du monde des apprenants, et comment les évaluations et les tâches exploitant le contexte et le lieu, en se concentrant sur des expériences authentiques et situées, peuvent établir des liens entre les deux.
  - Recherchez la valeur ajoutée du mobile, par exemple les opportunités d’apprentissage contingent, d’apprentissage situé, d’apprentissage authentique, d’apprentissage personnalisé ; pour la capture de données et d’images, pour l’utilisation de la localisation et du contexte.
  - Reconnaissez que l’espace du téléphone n’est pas une version appauvrie

du cyberspace, mais tout aussi riche, bien plus fluide et beaucoup plus perméable à l'espace « réel », et que chacun a ses propres normes en termes de vocabulaire, de formalité, de courtoisie, d'interaction et de réponses.

Ces principes de conception mettent l'accent sur l'importance de prendre en compte les appareils personnels des apprenants, leurs expériences et leurs attentes, ainsi que la proposition de valeur unique de l'apprentissage mobile : sa capacité d'adaptation et son évolution constante.

### 3.5 Gamification et jeux sérieux

Le concept de la gamification consiste à utiliser des mécanismes de jeu dans des contextes non ludiques. La gamification est utilisée dans l'éducation, la santé, les affaires et même le marketing auprès des consommateurs pour motiver et engager les participants [864]. Des études montrent que la gamification peut avoir des effets positifs sur les émotions, le comportement et l'apprentissage. Cependant, son efficacité dépend de la conception des éléments de gamification.

La gamification est l'utilisation d'éléments de jeu (comme des points, des badges ou des niveaux) dans des contextes non ludiques pour motiver et engager les gens [699]. Elle se distingue des jeux, dont le but premier est le divertissement. La gamification est un concept récent (apparu dans les années 2010) et est liée aux serious games (jeux complets utilisés pour l'éducation ou la formation) et à l'apprentissage basé sur le jeu (utilisation de jeux pour atteindre des objectifs d'apprentissage spécifiques). Bien que ces concepts utilisent tous des éléments de jeu à des fins non ludiques, la gamification se concentre sur l'intégration de mécanismes de jeu spécifiques dans des situations réelles.

La gamification, les serious games et l'apprentissage basé sur le jeu peuvent tous motiver et engager les utilisateurs, conduisant à des réponses émotionnelles positives, une participation accrue et des performances améliorées. Ces avantages se constatent dans l'éducation, la formation et même la promotion de la santé. Les effets motivationnels peuvent se traduire par des changements de comportement, comme encourager les comportements pro-environnementaux [663] ou augmenter l'activité physique [479]. De plus, ces approches peuvent

conduire à divers résultats d'apprentissage cognitif, tels qu'une amélioration de la pensée critique et de l'acquisition de connaissances. Cependant, pour des résultats d'apprentissage optimaux, les émotions positives et la motivation semblent être des facteurs importants.

Les chercheurs étudient les fondements théoriques de la gamification afin de mieux comprendre son fonctionnement et la manière de concevoir des expériences gamifiées efficaces. Il n'existe pas de théorie unique expliquant universellement l'efficacité de la gamification [574]. Des études ont appliqué diverses théories de différents domaines, comme la théorie de l'autodétermination et la théorie de la charge cognitive, mais il n'existe pas de panorama clair sur la façon dont ces théories sont utilisées ou comment elles influencent les résultats de la gamification. De plus, le manque de compréhension des mécanismes psychologiques qui sous-tendent la gamification rend difficile la sélection des mécanismes et des principes les plus appropriés pour obtenir les résultats souhaités.

Une revue systématique réalisée en 2021 par Krath, Schürmann et Von Korflesch [442] a identifié 118 théories différentes utilisées pour concevoir et comprendre la gamification. Ces théories couvrent la motivation, le comportement et l'apprentissage. L'analyse montre des liens entre ces théories, ce qui nous aide à comprendre comment la gamification fonctionne dans son ensemble. Par exemple, des objectifs clairs dans la gamification peuvent accroître la motivation en rendant l'activité plus pertinente et attrayante, de la même manière que les objectifs sont utilisés dans la théorie de l'autodétermination.

### 3.5.1 Base théorique de la gamification

Krath et ses collègues [442] ont trouvé dix principes par lesquelles la gamification fonctionne :

- La gamification peut rendre les objectifs clairs et pertinents, ce qui augmente la motivation. Ceci est similaire à la théorie de l'autodétermination, où l'autonomie (fixer ses propres objectifs) et le sentiment de pertinence alimentent la motivation intrinsèque. Les jeux utilisent des classements, des parcours d'apprentissage personnalisables et un suivi des progrès pour y parvenir, ce qui aide les utilisateurs à suivre leur progression vers

leurs propres objectifs.

- La gamification peut aider les utilisateurs à se sentir compétents en leur fournissant un feedback immédiat sur leur progression. Cela est important car le sentiment de compétence (auto-efficacité) est un facteur clé de la motivation, de l'apprentissage et du changement de comportement selon de nombreuses théories. Les jeux utilisent des points, des niveaux, des barres de progression et des messages de feedback pour donner aux utilisateurs ce sentiment d'accomplissement et les maintenir engagés.
- La gamification fournit un feedback immédiat et récompense les utilisateurs pour leur progression. Cela renforce les comportements souhaités et maintient la motivation des utilisateurs selon plusieurs théories. Un feedback positif, des badges et des récompenses dans le jeu sont plus efficaces que les punitions ou les incitations financières car ils semblent informatifs et pertinents pour les objectifs de l'utilisateur, plutôt que contraignants.
- La gamification peut motiver les utilisateurs grâce à la comparaison sociale. Les gens se comparent naturellement aux autres, et les éléments de gamification tels que les classements, les classements et les concours permettent aux utilisateurs de voir comment ils se situent. Cela peut être motivant car les utilisateurs peuvent voir où ils doivent s'améliorer et peuvent être inspirés par les performances des autres. Selon la théorie cognitive sociale, observer les autres (expérience vicariante) est important pour l'apprentissage et la motivation. La gamification peut y parvenir en permettant aux utilisateurs de voir comment les autres performant.
- La gamification peut motiver les utilisateurs en favorisant un sentiment de communauté et de connexion sociale. Selon des théories comme la théorie de l'action raisonnée et la théorie de l'autodétermination, les gens sont motivés par un désir de se conformer et de se connecter avec les autres. Des éléments de gamification tels que les équipes, les défis partagés, les réseaux sociaux et les fonctionnalités de communication peuvent tous aider les utilisateurs à se sentir comme faisant partie d'une communauté travaillant vers un objectif commun. Ce sentiment d'appartenance peut être un puissant moteur de changement de comportement.

- La gamification peut être adaptée aux différentes capacités et objectifs des utilisateurs. Ceci est important car les gens ont des besoins et des points de départ différents. Selon des théories comme la théorie de l'autodétermination et la théorie de la fixation d'objectifs, les gens sont motivés par un sentiment de compétence. La gamification peut aider les utilisateurs à se sentir compétents en proposant des tâches et des défis adaptés à leur niveau de compétence actuel. Par exemple, les jeux peuvent utiliser des niveaux de difficulté, des badges et des récompenses pour rendre l'expérience plus engageante et motivante pour les utilisateurs à tous les niveaux.
- La gamification peut adapter la difficulté des tâches et du contenu au niveau de compétence actuel de l'utilisateur. Ceci est important car, selon la théorie de l'apprentissage constructiviste, les apprenants ont besoin de tâches stimulantes mais réalisables. La gamification peut également fournir des conseils et un soutien grâce à des fonctionnalités telles que des astuces, des conseils et des suggestions. Ceci est similaire au concept d'échafaudage dans l'éducation, où les enseignants fournissent un soutien temporaire pour aider les élèves à acquérir de nouvelles compétences.
- La gamification peut créer une expérience d'apprentissage plus réaliste et engageante en permettant aux utilisateurs d'explorer différents chemins et options. Cela correspond à la théorie de l'apprentissage expérientiel, qui suggère que la connaissance s'acquiert par l'expérience plutôt que par la simple instruction. La gamification peut fournir des scénarios du monde réel et permettre aux utilisateurs d'expérimenter différentes solutions, de manière similaire à l'apprentissage par problèmes. Ce sentiment de choix peut également soutenir le sentiment d'autonomie, qui est important pour la motivation selon la théorie de l'autodétermination.
- La gamification peut faciliter et rendre l'apprentissage plus efficace en décomposant les tâches complexes en étapes plus petites et en fournissant des instructions claires. Ceci est important selon des théories comme le modèle d'acceptation de la technologie et la théorie de l'apprentissage multimédia, qui soulignent que les utilisateurs sont plus susceptibles de réussir et d'être engagés s'ils trouvent le système facile à utiliser. La

gamification peut également utiliser des fonctionnalités telles que des tutoriels et des invites d'auto-explication pour aider les utilisateurs à se concentrer sur les informations les plus importantes et éviter d'être surchargés.

- La gamification facilite l'apprentissage et l'action en décomposant les informations complexes en éléments plus petits et plus faciles à gérer.

En résumé, la gamification peut motiver les utilisateurs en employant une combinaison de théories psychologiques. Elle permet de définir des objectifs clairs et pertinents (P1), tout en fournissant un feedback immédiat et un renforcement positif (P3, P4) pour maintenir l'engagement des utilisateurs. La gamification peut également inciter les utilisateurs à adopter les actions souhaitées (P8) et simplifier les informations complexes (P10). De plus, elle peut permettre aux utilisateurs de définir leurs propres objectifs (P2) et parcours d'apprentissage (P9) et de s'adapter à leurs capacités (P7), favorisant ainsi un sentiment d'autonomie et de compétence. En outre, la gamification peut tirer parti de l'interaction sociale en permettant aux utilisateurs de voir leurs progrès mutuels (P5) et de travailler ensemble vers un objectif commun (P6), promouvant ainsi un sentiment de communauté et de lien social.

### 3.6 Récapitulatif

L'éducation est un phénomène social essentiel dans la transmission des connaissances et des valeurs à travers les civilisations. Cela nécessite une compréhension des théories de l'apprentissage pour optimiser ce transfert, particulièrement dans l'éducation musicale. Les théories de l'apprentissage ne définissent pas seulement les méthodes d'enseignement mais façonnent également les attentes envers les apprenants. Elles influencent la manière dont nous identifions les problèmes et discutons de l'apprentissage musical.

Historiquement, la philosophie de l'apprentissage s'est enrichie au 20<sup>e</sup> siècle avec des approches psychologiques qui ont prédominé en Amérique du Nord. Ces théories psychologiques, fondées sur le positivisme logique, ont marqué profondément notre compréhension de l'apprentissage, en particulier en musique.

Diverses théories ont émergé, influençant aussi la formation musicale : la

Psychologie de la Gestalt, le Béhaviorisme Américain, et la Théorie Culturelle-Historique Russe. Chaque approche a offert des perspectives uniques sur le traitement de l'information et l'apprentissage, des réponses comportementales aux influences culturelles et sociales sur le développement cognitif.

Le Constructivisme, développé par Piaget, a apporté une compréhension significative de l'apprentissage en tant que processus de construction de la connaissance basé sur l'interaction entre les expériences existantes et nouvelles. Cette théorie a été particulièrement influente, encourageant des méthodes d'enseignement qui favorisent l'engagement actif et la créativité des apprenants.

Le milieu du 20e siècle a vu l'importance croissante des sciences cognitives, stimulée par les innovations technologiques et la rivalité géopolitique. Cela a mené à une réévaluation des méthodes pédagogiques, avec une plus grande emphase sur la compréhension des structures cognitives de base et l'encouragement de l'activité étudiante dans l'apprentissage.

L'éducation musicale a bénéficié de ces développements, adoptant des approches nuancées qui tiennent compte des aspects sociaux et cognitifs de l'apprentissage. Cela a renforcé l'efficacité de l'enseignement musical en alignant les méthodes d'enseignement sur les théories modernes de l'apprentissage, favorisant ainsi une formation musicale plus complète et intégrée.

Stanislas Dehaene identifie quatre piliers fondamentaux de l'apprentissage : l'attention, l'engagement actif, le retour sur erreur, et la consolidation. L'attention est présentée comme une fonction cognitive cruciale, agissant comme un filtre qui sélectionne les informations pertinentes parmi un flot de stimuli. Le mécanisme de l'engagement actif permet de canaliser les ressources cognitives vers les informations les plus importantes. Le retour sur erreur permet de ajuster les prédictions du cerveau en fonction des erreurs détectées, ce qui est fondamental pour l'apprentissage efficace. Enfin, la consolidation est décrite comme le processus par lequel les compétences et les connaissances deviennent plus stables et moins susceptibles d'être oubliées. Ce processus peut être influencé par des facteurs comme le sommeil et le repos.

Nous avons exploré la perception et la cognition musicales, abordant des aspects tels que l'audition, la mémoire musicale, et l'imagerie mentale. L'oreille humaine capte et transforme les ondes sonores en stimuli auditifs : l'oreille



externe canalise les ondes vers le tympan, l'oreille moyenne transmet ces vibrations à l'oreille interne où elles sont converties en impulsions électriques par les cellules ciliées, et finalement, ces signaux sont traités par le cortex auditif pour la reconnaissance des sons.

Notre cerveau regroupe les éléments auditifs pour former une cohérence perceptive. Cette perception ne s'arrête pas à la simple réception passive, mais elle implique une action active du système auditif, intégrant des connaissances antérieures et des inférences pour combler les lacunes dans les signaux reçus.

L'importance de la mémoire dans la perception musicale est également soulignée. La mémoire musicale est vue non seulement comme un stockage d'informations mais aussi comme un processus créatif qui permet de reconstruire et d'interpréter la musique. Cette capacité est cruciale pour les musiciens, leur permettant de mémoriser et de reproduire des œuvres complexes.

L'imagerie mentale est un outil puissant pour la perception et l'exécution musicales, permettant aux musiciens de prévoir et de planifier leurs performances. L'imagerie mentale aide à former une « image perceptuelle » lors de l'écoute et une « image rappelée » lors de l'évocation de souvenirs musicaux, facilitant ainsi l'interaction complexe entre perception, mémoire, et performance.

L'ergonomie cognitive est essentielle pour optimiser l'interaction entre les humains et les outils numériques, en tenant compte des capacités et des limites humaines pour la conception de machines et d'environnements. Née durant la révolution industrielle pour répondre à l'écart entre les exigences des machines et les capacités humaines, l'ergonomie vise à réduire la fatigue et l'inconfort tout en maximisant la productivité. La dimension cognitive de l'ergonomie, distincte de l'ergonomie physique, se concentre sur les aspects psychologiques du travail, explorant l'impact des tâches sur l'esprit et vice versa, et la manière dont cela influence la performance et le bien-être des individus.

Un aspect crucial de l'ergonomie cognitive est la compréhension de la charge cognitive associée à l'utilisation de la technologie, notamment à travers des théories comme la théorie de la charge cognitive et l'apprentissage multimédia. Ces théories aident à concevoir des environnements d'apprentissage qui respectent les capacités de traitement de l'information de l'individu, en utilisant des techniques visuelles et auditives pour améliorer la rétention et la manipulation des

informations.

La gamification motive les utilisateurs en exploitant des principes psychologiques comme la définition d'objectifs clairs, la rétroaction immédiate et positive, la reconnaissance des progrès, et la collaboration. Elle permet de rendre des tâches complexes plus attrayantes et favorise l'apprentissage autonome et la maîtrise. De plus, elle encourage l'interaction sociale et le sentiment d'appartenance à une communauté.



## Nouvelle proposition numérique

Les applications mobiles offrent de puissantes opportunités éducatives selon le domaine et les compétences visées. Dans le domaine des apprentissages auditifs et musicaux, de nombreuses options existent sur le marché pour l'*ear training*; cependant, peu ont fait l'objet de recherches pédagogiques et encore moins sont le fruit d'un projet de recherche en pédagogie. Dans ce chapitre, nous explorerons les principaux concepts et théories pour une nouvelle proposition d'un outil numérique d'apprentissage tirés de la littérature scientifique en pédagogie musicale, en neuro-pédagogie, en apprentissage multimédia et en gamification pour la création d'exercices numériques d'apprentissages auditifs. De plus, nous aborderons l'intégration de ces exercices dans la plateforme Moodle et H5P. Le projet de recherche « Le Numérique pour l'Optimisation des Apprentissages Musicaux » (NOAM) sera présenté, ainsi que le stage de recherche au Collegium Musicae. Nous aborderons le processus d'élaboration sur Moodle d'exercices qui s'appuient sur ces théories pédagogiques comme alternative aux applications d'entraînement auditif actuellement disponibles.

### **4.1 Lignes directrices pour une nouvelle proposition**

Dans la section suivante nous allons synthétiser les aspects étudiés précédemment sur les apprentissages auditifs, les besoins des différents acteurs, les exemples d'outils numériques d'apprentissage observés dans la littérature et les

suggestions qui peuvent être extrapolés des théories de l'apprentissage.

#### 4.1.1 Une approche holistique aux apprentissages auditifs et musicaux

Dans cette sous-section, nous procéderons à une synthèse des principaux éléments des nouvelles approches pour l'optimisation de l'apprentissage auditif. Ces approches cherchent à former l'ensemble d'aspects de la musicalité de l'individu. Cependant il est nécessaire d'analyser brièvement le terme « musicalité ».

Le terme « musicalité » n'a pas de définition universelle et varie selon le contexte [328]. Selon le dictionnaire Cambridge, il désigne la maîtrise et bon jugement en musique [568]. Associé à des termes comme capacité, aptitude, talent et potentiel, « musicalité » est parfois lié aux origines évolutives du comportement musical humain [361]. Les autres termes décrivent souvent le niveau actuel des compétences musicales ou des aptitudes perçues comme héritées [576]. Ces définitions sont influencées par des contextes culturels, sociaux et économiques. Dans les sociétés occidentales, les études ont historiquement développé des tests pour évaluer le potentiel musical des enfants [328]. Pour Honing [361] la musicalité est une aptitude naturelle façonnée par la structure et le fonctionnement de notre cerveau. Cette capacité innée est historiquement, culturellement et biologiquement universelle; active dès les premiers stades de la vie et persistant indépendamment de la formation musicale [791].

Les nouvelles approches de la formation auditive, présentées dans le premier chapitre, s'inscrivent dans une perspective de développement global de la musicalité. Ces méthodes innovantes mettent l'accent sur les éléments suivants :

**Contextualisation** Au lieu d'étudier des éléments musicaux isolément, il est proposé d'utiliser des exemples musicaux réels et de les décomposer pour une analyse plus approfondie. Gary Karpinski [405] analyse les compétences auditives du point de vue de l'écoute, de la lecture et de l'interprétation (plutôt que de l'approche traditionnelle centré sur la lecture à vue et la dictée). Il soutient que l'objectif ultime de l'intégration des compétences auditives est de permettre

aux individus de « penser en musique ». Karpinski étaye cette affirmation en citant d'autres auteurs [112, 750, 706, 785] qui décrivent la capacité à « entendre » de la musique en lisant une partition ou à « visualiser » une partition en écoutant de la musique. Il souligne que la lecture et l'interprétation efficaces de la musique nécessitent une compréhension approfondie de la tonalité, de la métrique et de la fonction harmonique, au-delà du simple fait de « jouer les bons sons au bon moment ».

**Imagerie et mémoire musicales comme composantes de la musicalité** Les auteurs encouragent le développement de l'imagerie musicale et de la mémoire musicale pour une meilleure compréhension de la musique. Même si l'expérience musicale semble avoir un caractère actif et subjectif dans son ensemble, on ne peut pas la considérer comme ayant une fonction unique. En effet, plusieurs des paramètres peuvent être décomposés en éléments distincts. Ainsi, le caractère spécialisé du traitement auditif [869], les nombreux types de mémoire qui fonctionnent ensemble, le caractère multimodal de l'imagerie; [871], les composantes neuroanatomiques séparables de la lecture de musique et le caractère multi-composant global de la musicalité [361] soulignent tous la complexité de notre relation avec la musique. Le tableau se complique encore plus lorsque l'on considère les différentes formes que peut prendre la musicalité, en fonction des valeurs culturelles, du rôle individuel ou de l'activité spécifique. L'expérience musicale n'est pas qu'une collection d'éléments séparés. Bien que ses composantes soient multiples, les interactions entre elles créent une expérience unifiée. Ceci est soutenu par la façon dont nous regroupons naturellement les sons [199], dont nous nous souvenons de la musique dans son ensemble et dont nous absorbons inconsciemment des connaissances musicales [669]. La musique combine également des aspects psychologiques comme la mémoire [731], des actions physiques comme le fait de jouer [435] et des émotions. De plus, la musique existe dans un contexte social et historique et peut même être considérée comme une forme d'interaction sociale en soi [732]. L

**Jugement critique** La capacité à discuter de différentes interprétations et à évaluer les choix du compositeur et de l'interprète est considérée comme essentielle.

Les musiciens font constamment appel à des connaissances à la fois conscientes (explicites) et inconscientes (implicites). La formation explicite s'appuie sur et affine les connaissances musicales implicites que nous acquérons naturellement et par la culture [783]. Cela se produit au sein de chaque compétence musicale : l'écoute automatique se combine à une attention focalisée, la mémoire mélange des éléments automatiques et analytiques, et l'imagerie peut être à la fois spontanée et pratiquée [180]. Même la lecture de musique, qui nécessite initialement un effort, devient automatique. Cette interaction s'étend à la compréhension de la structure et de l'expressivité de la musique [846]. Enfin, les musiciens chevronnés combinent l'automatisme physique avec la pratique analytique, ce qui suggère que la théorie améliore finalement l'intuition musicale.

**Matériel pertinent pour des musicalités différentes** Il est important d'utiliser du matériel musical qui intéresse l'élève, comme son propre répertoire. Malgré la complexité et la formation requises pour certaines activités musicales, la capacité à s'engager avec la musique semble universelle. Cela remet en question l'idée selon laquelle le talent musical serait uniquement dû aux gènes ou à des facteurs externes comme la formation, souvent perçue comme une perspective occidentale [626]. Les cultures sans notion de « don » montrent souvent une capacité musicale répandue [182]. L'importance émotionnelle et sociale de la musique à travers l'histoire [426], et son lien avec notre biologie fondamentale [870] suggèrent que tous les humains ont un potentiel musical.

**Utilisation d'instruments et composition** L'utilisation d'instruments permet une expression physique de la musique, favorise l'improvisation et facilite le transfert des apprentissages. Comme explique Andrianopoulou, l'interaction avec la musique implique un caractère intrinsèquement actif, évident non seulement dans l'interprétation, l'improvisation ou la composition, mais aussi dans la perception initiale du son. Dès les premiers stades, les humains interagissent activement avec le son, façonnant une connaissance musicale implicite [731]. Cette interaction est démontrée à travers divers processus tels que la manipulation et l'interprétation du son dans le système auditif, ainsi que la reconstruction interne du son pour en déduire un sens en écoutant ou en interprétant [467]. De

plus, l'apprentissage musical explicite renforce davantage cet élément actif grâce à l'intentionnalité [669]. Ainsi, notre relation avec la musique est caractérisée par une implication continue et intense, mettant en lumière la nature dynamique de la perception et de la cognition musicales.

**Collaboration entre les matières** Les auteurs suggèrent une collaboration plus étroite entre les différentes matières du cursus musical, ainsi qu'un travail en groupe pour stimuler l'apprentissage. Tout au long de l'histoire, l'apprentissage de la musique classique occidentale s'est spécialisé. Si le potentiel musical semble universel, la façon dont nous l'apprenons a changé, en particulier en Europe. Des sujets autrefois étudiés ensemble, comme la théorie musicale, la notation et la mémoire, sont maintenant des cours distincts. La théorie explorait autrefois le reflet de l'univers dans la musique, puis s'est concentrée sur des règles générales, et analyse maintenant des œuvres spécifiques [145]. La mémorisation est passée de la mémorisation de poèmes épiques à des formules mélodiques pour finalement aboutir à une mémorisation note par note, nécessaire pour l'interprétation par cœur de la musique classique [375]. La notation est passée d'une représentation vague de la mélodie à un système très détaillé [556]. Ces sujets se sont également séparés, la notation ne servant plus d'aide à la mémoire et la théorie n'étant plus mémorisée. Cette séparation a culminé au XIXe siècle dans les conservatoires, avec des classes distinctes pour la théorie, le déchiffrage à vue et l'oreille musicale [569]. L'ancien modèle d'apprentissage intégré, avec son caractère individualisé et holistique, reflète mieux, selon Andrianopoulou [24] notre relation naturelle à la musique. Des appels existent pour réunir la pensée analytique à l'écoute, élargir la théorie et créer une approche plus flexible de la musique basée sur l'expérience auditive [48, 406].

**Psychologie et pédagogie musicale** Une meilleure connaissance de la psychologie musicale permettrait aux enseignants de présenter le matériel de manière plus efficace et mémorable. L'expérience de la musique est intrinsèquement subjective en raison de l'engagement actif des connaissances préalables avec les informations entrantes [731]. La prise en compte de cette subjectivité peut changer la manière dont l'enseignant approche la matière, car la perception est



influencé par l'inférence basée sur les connaissances antérieures [528]. De plus, l'application des principes perceptifs universels dans différents systèmes théoriques reflète la nature subjective de la compréhension musicale. À une échelle plus large, l'expérience musicale est façonnée subjectivement par la fonction reconstructive de la mémoire, les facteurs spécifiques au style et au contexte, ainsi que la combinaison unique de conditions physiques, psychologiques, culturelles, sociales et historiques dans lesquelles les individus rencontrent la musique [92]. Cela se traduit par une mosaïque diversifiée d'expériences musicales pour chaque personne.

En résumé, les auteurs plaident pour une formation auditive plus globale, centrée sur l'élève et basée sur des exemples concrets. Cette approche permettrait de développer chez les élèves une compréhension plus profonde de la musique et de les rendre plus autonomes dans leur apprentissage. Le principal enjeu soulevé dans ce texte est le manque de collaboration entre la . Une meilleure intégration entre la psychologie musicale et la formation auditive pourrait optimiser les méthodes d'enseignement de la musique.

### **Principes pédagogiques**

Afin de définir les fondements pédagogiques d'une nouvelle approche de l'apprentissage auditif, nous nous sommes inspirés des travaux d'Andrianopoulou [24]. Cette chercheuse met en évidence le rôle crucial d'une pédagogie qui, tout en développant les compétences musicales pratiques, permet aux apprenants de développer une conscience approfondie des dimensions implicites et explicites de la musicalité. Les implications pédagogiques de ces travaux, sans se limiter à un modèle unique, sont présentées ci-dessous sous forme de principes généraux.

**Des parcours d'apprentissage individualisés** Étant donné que l'expérience musicale est personnelle, une classe pleine d'activités apparemment partagées cache en réalité un monde intérieur unique pour chaque élève. La perception, la pensée et les émotions se combinent avec le contexte social et historique pour créer un parcours d'apprentissage personnel pour chaque élève. Un professeur d'éducation musicale, suivant une approche constructiviste [166], devrait se concentrer sur la création d'opportunités d'apprentissage plutôt que sur un

contrôle strict. Cela signifie être ouvert à des réponses et des besoins variés, voire encourager les interprétations personnelles [48]. Idéalement, les élèves devraient s'approprier leur apprentissage, en adaptant les tâches et en choisissant comment être évalués. Bien que de telles approches existent [379, 648], elles ne sont pas encore la norme dans l'enseignement des compétences auditives.

**Équilibrer l'isolement et l'intégration** La musique peut être décomposée en compétences distinctes comme la mélodie, le rythme et la lecture. Cette complexité justifie un certain entraînement isolé de ces éléments dans l'oreille musicale. Cependant, la musique est aussi une expérience globale avec des interactions entre ces parties. Par conséquent, l'éducation auditive devrait également inclure de nombreux aspects du son (dynamique, timbre, articulation) et utiliser diverses activités (lecture, chant, jeu) pour ramener la pratique isolée à la musique dans son ensemble. Cet équilibre peut être atteint en intégrant progressivement les compétences tout au long d'un cours ou en utilisant des contextes musicaux complets tout en se concentrant sur des aspects spécifiques. Trouver cet équilibre est crucial pour éviter de créer des expériences musicales artificielles [380, 429].

**Exploiter les connaissances implicites** La formation auditive est souvent perçue comme favorisant la compréhension explicite de la musique elle-même [213]. Cependant, une vision plus large inclut la compréhension de la structure musicale, du contexte social/culturel/historique, et même des connexions physiques [102]. Les métaphores relient ces aspects à nos expériences quotidiennes [731]. Cela nécessite à la fois des processus implicites et explicites, qui interagissent constamment dans des domaines tels que la perception, la mémoire et l'imagerie [324]. De plus, les connaissances explicites s'appuient sur des connaissances implicites partagées par les musiciens et les non-musiciens [76]. Puisque ces processus fonctionnent ensemble, l'éducation auditive devrait mettre l'accent sur les deux, comme le suggèrent certains auteurs [570]. Négliger les connaissances implicites conduit probablement à un apprentissage superficiel. Des activités telles que jouer d'un instrument, se mouvoir, improviser et utiliser des notations libres peuvent intégrer les deux. Même le simple fait de reconnaître les

connaissances implicites existantes des élèves peut être positif.

**Exploiter les aspects physiques, émotionnels et sociaux** L'éducation auditive doit aborder la musique de manière holistique, en incluant les aspects physiques, émotionnels et sociaux. Il est important d'utiliser des pièces et des contextes musicaux complets. L'aspect physique est souvent abordé par le biais des instruments, de la percussion corporelle ou du mouvement [380]. L'élément émotionnel n'a pas reçu autant d'attention, mais il pourrait être intégré en identifiant les émotions dans la musique, en ajoutant des émotions aux exercices ou en improvisant avec des émotions [648]. Les métaphores peuvent relier les structures musicales aux émotions. L'aspect social suggère que la classe elle-même devrait être un espace musical et social, où même la dictée peut être vue comme positive et ludique. Des activités telles que le travail en binôme ou en groupe [430] peuvent rendre les leçons plus intéressantes. Les professeurs de musique peuvent également renforcer la confiance musicale de leurs élèves en se concentrant sur les quatre sources d'auto-efficacité de Bandura [341]. En aidant les élèves à réussir, à apprendre des autres, à recevoir des commentaires positifs et à gérer leurs émotions, les enseignants peuvent les guider vers de plus grandes réalisations musicales.

**Développer la conscience de l'universalité et du potentiel musical** Le potentiel musical universel a des implications peut-être pas tant pour le contenu pédagogique et les méthodes d'éducation auditive, que pour la façon dont les enseignants perçoivent les capacités des élèves et leur propre rôle dans leur développement. Les croyances sur l'intelligence et les capacités des élèves jouent un rôle dans la façon dont les enseignants abordent l'enseignement, ainsi que dans leurs attentes vis-à-vis de leurs élèves - des facteurs qui, à leur tour, affectent l'apprentissage et la réussite des élèves [235]. Principalement, cela pourrait se traduire par une attitude de confiance envers les élèves, d'ouverture et de flexibilité, en tenant compte de leurs différents parcours musicaux, de leurs points forts musicaux et de leurs approches d'apprentissage, et en les intégrant à la leçon. Dans le même temps, les niveaux d'effort et d'engagement des élèves semblent également être influencés par leurs propres croyances sur les capacités,

l'effort, le potentiel et le talent [860], leurs conceptions de l'apprentissage et leurs perceptions du sens et de la pertinence des tâches demandées [235]. Les chercheurs ont suggéré que des éléments de psychologie de la musique, bien qu'ils ne fassent pas strictement partie de la « formation auditive » traditionnelle, pourraient faire partie d'une éducation auditive plus large, aidant les élèves à comprendre la nature complexe de la relation à la musique, leur propre riche potentiel musical, ainsi que la façon d'améliorer leur profil personnel de forces et de faiblesses dans les activités auditives. Une telle approche contribuerait à une éducation auditive plus complète et plus significative, et permettrait probablement d'éliminer les attitudes largement négatives des élèves envers la « formation auditive » traditionnelle [648, 535, 620].

**Éducation auditive précoce, familiarité auditive et improvisation** L'ancien apprentissage musical, avant les conservatoires, était plus intégré. Les étudiants apprenaient à l'oreille (familiarité auditive) et en copiant et improvisant [540]. Un programme d'éducation auditive moderne pourrait être similaire. Il pourrait commencer tôt [344], mettre l'accent sur l'écoute pour développer une solide familiarité auditive, et même inclure l'improvisation tout au long de la formation d'un étudiant. L'improvisation nécessite à la fois des connaissances musicales conscientes et inconscientes, ce qui la rend précieuse pour l'éducation auditive. Une improvisation poussée pourrait même remplacer les cours séparés de théorie musicale et d'oreille musicale en offrant une expérience d'apprentissage plus intégrée. Cela pourrait répondre à la critique concernant la fragmentation des programmes actuels [839].

#### 4.1.2 Principes de conception d'un outil numérique d'apprentissages auditifs et musicaux

Dans les sciences appliquées, les principes de conception capturent le « savoir-faire » en proposant des instructions pour atteindre un objectif. Ils définissent un but clair, une action spécifique et le raisonnement qui la sous-tend, tout en restant adaptables à différentes situations. Cela en fait un outil puissant pour les sciences appliquées afin de traduire les connaissances en solutions pratiques

[583].

En 2020, Gregor, Kruse et Seidel [312] ont publié un article sur les règles de conception pour la technologie utilisée par les groupes sociaux. Il existe de nombreuses idées différentes sur les principes de conception, cependant, certaines d'entre elles oublient les personnes utilisant la technologie ou la complexité de l'interaction. Les chercheurs proposent un schéma qui inclut les principes habituels pour l'atteinte des objectifs, mais qui prend également en compte : comment différentes personnes utiliseront la technologie, comment rendre la technologie complexe plus facile à comprendre, que les choses ne fonctionnent pas toujours parfaitement, différentes manières d'atteindre les objectifs, et des exemples de ces principes.

Les chercheurs [312] ont identifié trois manières de formuler des principes de conception pour les systèmes d'information : 1) les principes d'activité utilisateur se concentrent sur ce que les utilisateurs devraient pouvoir faire, comme apprendre des autres dans un système de gestion des connaissances. 2) Les principes de caractéristiques des artefacts spécifient les fonctionnalités qu'un système devrait avoir, comme des couches multiples dans un système anti-fraude. 3) Les principes combinés tiennent compte à la fois des actions des utilisateurs et des fonctionnalités du système, telles que la possibilité de filtrer dynamiquement la base de connaissances grâce à des filtres graphiques dans un système de soutien à la créativité. Ces catégories fournissent un cadre pour concevoir des systèmes d'information qui tiennent compte efficacement à la fois des besoins des utilisateurs et des capacités du système.

Gregor et ses collègues [312] proposent un cadre de conception composé d'éléments tels que l'Objectif (ce qu'il permet d'atteindre), le Contexte (où il s'applique) et les Mécanismes (comment il fonctionne). Ce cadre clarifie également les rôles des acteurs impliqués : les Implémenteurs mettent en pratique le principe, les Utilisateurs en bénéficient, les Exécutants réalisent les actions (y compris les Utilisateurs), et les Théoriciens (facultatif) analysent et expliquent le principe. Ce cadre nous aide à comprendre qui fait quoi et pourquoi dans les principes de conception. Nous allons utiliser ce schéma pour la élaboration des principes de conception des outils numériques d'apprentissage auditif.

### Principes dérivés de l'étude de l'apprentissage auditif dans la formation musicale

En base au schéma proposé par Gregor [312], parallèlement aux principes proposés par Andrianopoulou [24], nous avons formulé des principes pédagogiques en lien avec les chapitres précédents.

— **Intégration du curriculum.**

**Justification** L'enseignement musical traditionnel, avant les conservatoires, mettait l'accent sur la formation auditive et l'improvisation, qui pourraient être réintégrés dans les programmes modernes d'éducation auditive pour favoriser un développement musical holistique.

**Mécanisme** Combiner différentes approches pour étudier le même élément musical.

**Objectif, implémenteur et utilisateur** Permettre aux institutions de créer des environnements d'apprentissage contextualisés dans lesquels la relation de l'élève avec la musique englobe les interactions multiples qui se produisent dans le monde.

**Contexte** Dans un établissement d'enseignement musical.

— **Apprentissage contextualisé**

**Justification** Un enseignement musical efficace devrait embrasser l'individualité de l'expérience musicale de chaque élève en favorisant l'apprentissage constructiviste, en encourageant des interprétations diverses et en permettant aux élèves de s'approprier leur parcours d'apprentissage.

**Mécanisme** S'intéresser aux antécédents et aux objectifs des élèves.

**Objectif, implémenteur et utilisateur** Permettre aux établissements d'enseignement de stimuler l'engagement actif en proposant des programmes dans lesquels le développement individuel est lié au parcours et aux objectifs de l'élève.

**Contexte** Dans un établissement d'enseignement musical ou/et dans la politique d'éducation générale.

— **Musicalité au-delà de l'instrument.**

**Justification** Les musiciens combinent harmonieusement les connaissances conscientes et inconscientes pour atteindre l'expertise musicale.

**Mécanisme** Analyser et manipuler les éléments musicaux au-delà de l'interprétation pour une compréhension plus approfondie.

**Objectif, implémenteur et utilisateur** Permettre aux enseignants de promouvoir une approche intégrée de la musicalité par les élèves à travers la création, la libre interprétation et d'autres moyens.

**Contexte** Dans un établissement d'enseignement musical et dans la classe de formation auditive.

— **Expérience immersive**

**Justification** La formation auditive devrait englober les dimensions physiques, émotionnelles et sociales de la musique, en utilisant diverses activités et contextes pour favoriser une expérience musicale holistique.

**Mécanisme** Engager les élèves dans les différents rôles de l'activité musicale (« *musicking* »).

**Objectif, implémenteur et utilisateur** Permettre aux enseignants de contextualiser le développement des éléments musicaux et de l'esthétique pour améliorer la compréhension des élèves.

**Contexte** Dans la classe de formation auditive et sur la plateforme virtuelle.

— **Déverrouillage des connaissances implicites.**

**Justification** Malgré la complexité et la formation requises pour certaines activités musicales, la capacité à s'engager avec la musique semble universelle, remettant en question la notion de talent musical uniquement attribuée aux gènes ou à des facteurs externes comme la formation.

**Mécanisme** Promouvoir la connaissance implicite de la musique, demander la participation des élèves à l'analyse des éléments.

**Objectif, implémenteur et utilisateur** Permettre aux enseignants de travailler à la création d'un environnement d'apprentissage dans lequel les élèves jouent un rôle actif dans l'analyse des matériaux et de leurs propres erreurs, en encourageant l'expression de leurs propres critères.

**Contexte** Dans la classe de formation auditive et sur la plateforme virtuelle.

— **Développement de plusieurs compétences.**

**Justification** L'éducation auditive devrait s'efforcer d'équilibrer l'entraînement isolé des compétences avec des expériences musicales holistiques, en incorporant divers éléments sonores et activités pour combler le fossé entre les composants individuels et l'expérience musicale globale.

**Mécanisme** Identifier des méthodes alternatives pour évaluer le développement des compétences auditives chez les élèves.

**Objectif, implémenteur et utilisateur** Permettre aux enseignants et aux développeurs d'évaluer d'autres aspects des compétences auditives que la dictée et la lecture à vue chez les élèves.

**Contexte** Dans la classe de formation auditive et sur la plateforme virtuelle.

— **Parcours d'apprentissage personnalisé.**

**Justification** Un outil d'apprentissage peut offrir un parcours personnalisé qui s'adapte au rythme de progression de l'élève. Cela pourrait servir à améliorer les fonctions exécutives et à donner des conseils sur les stratégies métacognitives.

**Mécanisme** Créer des parcours de progression clairs et intégrer des stratégies d'apprentissage.

**Objectif, implémenteur et utilisateur** Permettre aux enseignants et aux développeurs de créer des environnements qui proposent à la fois un parcours pédagogique et la possibilité de choisir tout type d'exercice, tout en affichant des suggestions pour favoriser de meilleures habitudes d'apprentissage chez les élèves.



**Contexte** Sur la plateforme virtuelle.

### **Principes dérivés de l'étude de l'évolution et mise en oeuvre d'outils numériques pour l'apprentissage auditif**

En base au schéma proposé par Gregor [312], nous avons formulé des principes pédagogiques en lien avec les chapitres précédents par rapport au rôle du numérique dans l'apprentissage auditif.

#### **— Conception centrée sur l'apprenant**

**Justification** L'éducation moderne se dirige vers la personnalisation, les approches basées sur les compétences, la pensée critique, l'apprentissage continu et l'utilisation d'outils en constante évolution.

**Mécanisme** Mettre l'accent sur la maîtrise des compétences par l'apprenant et développer la pensée critique en utilisant stratégiquement la technologie lorsque cela est approprié.

**Objectif, implémenteur et utilisateur** Pour que les éducateurs et les institutions créent des programmes facilitant un changement dans le modèle éducatif où l'élève est au centre du processus d'apprentissage.

**Contexte** Institutions d'apprentissage musical et/ou environnements d'éducation générale.

#### **— Intégration de la technologie dans l'éducation musicale**

**Justification** La technologie pour la création, l'analyse, l'édition et la distribution de musique a transformé le monde professionnel. Cependant, l'éducation musicale n'a pas pleinement bénéficié de l'intégration de ces outils dans la même mesure que d'autres matières.

**Mécanisme** Utiliser des outils tels que les logiciels d'enregistrement, les logiciels de production musicale (DAW), les instruments numériques, les outils de traitement du son et les bibliothèques de sons numériques.

**Objectif, implémenteur et utilisateur** Permettre aux institutions et aux enseignants de créer des opportunités pour les étudiants d'analyser et de manipuler les éléments musicaux grâce à l'utilisation de la technologie.

**Contexte** Institutions d'apprentissage musical, en particulier les salles de classe de compétences auditives.

— **Expériences d'apprentissage engageantes**

**Justification** L'apprentissage programmé et le développement subséquent de l'enseignement assisté par ordinateur (EAO) ont progressivement évolué vers la gamification et les jeux sérieux.

**Mécanisme** Mettre en œuvre des fonctionnalités de gamification pour améliorer l'engagement des étudiants avec les supports d'apprentissage.

**Objectif, implémenteur et utilisateur** Pour que les développeurs créent des plateformes virtuelles qui augmentent davantage l'engagement des étudiants, en tirant parti de leur familiarité avec les styles d'apprentissage modernes.

**Contexte** Plateformes virtuelles.

— **Apprentissage pertinent, inclusif et accessible**

**Justification** De nombreuses applications d'apprentissage développées en dehors de la recherche en pédagogie musicale présentent souvent du contenu non contextualisé, supposément non pertinent et inaccessible pour tous les étudiants.

**Mécanisme** Incorporer des informations contextuelles et utiliser de vrais exemples musicaux alignés avec le programme d'études.

**Objectif, implémenteur et utilisateur** Encourager les développeurs à collaborer avec les enseignants et les chercheurs pour intégrer les résultats pédagogiques dans la création d'outils d'apprentissage numérique accessibles et pertinents.

**Contexte** Plateformes virtuelles.

— **Mise en œuvre durable**

**Justification** Le soutien institutionnel limité, la formation insuffisante des enseignants et les contraintes de temps entravent souvent l'intégration réussie de la technologie. De plus, l'idée que ces outils re-

présentent une « solution miracle » aux problèmes pédagogiques est trompeuse.

**Mécanisme** Fournir des ressources pour équiper les enseignants des compétences nécessaires pour utiliser la technologie efficacement comme aide à l'apprentissage, en accord avec leurs besoins pédagogiques.

**Objectif, implémenteur et utilisateur** Permettre aux institutions de donner la priorité à la formation des enseignants et d'allouer du temps dédié pour qu'ils puissent adapter l'utilisation des outils numériques selon leurs approches pédagogiques spécifiques.

**Contexte** Institutions d'apprentissage musical et/ou environnements d'éducation générale.

#### — Innovation pédagogique dans le développement d'applications

**Justification** Le développement d'applications est souvent dicté par les forces du marché, entraînant des limitations telles que des budgets serrés, une dépendance à la publicité pour la monétisation et un investissement minimal dans la recherche.

**Mécanisme** Utiliser des outils tels que les logiciels d'enregistrement, les logiciels de production musicale (MAO), les instruments numériques, les outils de traitement du son et les bibliothèques de sons numériques.

**Objectif, implémenteur et utilisateur** Encourager les développeurs à intégrer les avancées éducatives dans leurs applications pour améliorer l'engagement des utilisateurs et les résultats d'apprentissage.

**Contexte** Plateformes virtuelles.

#### — Environnement d'apprentissage favorable

**Justification** La recherche indique que les étudiants, quels que soient leurs antécédents ou objectifs musicaux, apprécient les outils pédagogiques qui offrent des façons alternatives d'interagir avec les supports d'apprentissage.

**Mécanisme** Développer un outil numérique qui intègre des approches pédagogiques pertinentes pour soutenir l'apprentissage des étudiants au sein d'un programme d'études spécifique.

**Objectif, implémenteur et utilisateur** Développer de manière collaborative une aide à l'apprentissage numérique (développeurs, enseignants et institutions) pour soutenir les étudiants dans les institutions d'apprentissage musical, en particulier dans les salles de classe de compétences auditives et sur les plateformes virtuelles.

**Contexte** Institutions d'apprentissage musical, en particulier les salles de classe de compétences auditives et les plateformes virtuelles.

### Principes dérivés de l'étude de la neuropédagogie appliqué à l'apprentissage auditif

En base au schéma proposé par Gregor [312], nous avons formulé des principes pédagogiques en lien avec les chapitres précédents par rapport au rôle de la neuropédagogie dans l'apprentissage auditif.

#### — Approches pédagogiques intégratives

**Justification** Les théories de l'apprentissage ont évolué d'un modèle stimulus-réponse vers une approche plus cognitive, constructiviste, socialement active et combinée.

**Mécanisme** Cette approche combine des éléments de stimulus-réponse et de constructivisme, favorisant l'apprentissage actif et encourageant l'engagement social et émotionnel.

**Objectif, implémenteur et utilisateur** Permettre aux développeurs de créer des outils qui utilisent diverses approches d'apprentissage, permettant aux utilisateurs d'aborder la tâche d'apprentissage de multiples façons.

**Contexte** Plateformes virtuelles.

#### — Développer l'attention et les fonctions exécutives

**Justification** L'attention, l'engagement actif, le retour d'information sur les erreurs et la consolidation sont les piliers de l'apprentissage.

**Mécanisme** Cette approche se concentre sur la direction de l'attention de l'utilisateur, la fourniture d'invitations métacognitives, la proposition de feedback et la sensibilisation au besoin de périodes de repos.

**Objectif, implémenteur et utilisateur** Permettre aux développeurs de concevoir des expériences qui améliorent l'attention auditive et les fonctions exécutives générales.

**Contexte** Plateformes virtuelles.

— **Engagement cognitif global en musique**

**Justification** La perception et la cognition musicales sont des tâches complexes impliquant divers mécanismes cérébraux. La perception, l'imagerie, la mémoire et les processus implicites-explicites sont interconnectés dans les activités musicales. Le corps joue également un rôle crucial.

**Mécanisme** Utiliser des stimuli musicaux riches, le chant, le mouvement corporel, des techniques de mémorisation motrice et mentale, et des stratégies métacognitives.

**Objectif, implémenteur et utilisateur** Permettre aux développeurs de créer des expériences qui favorisent l'imagerie musicale et diverses formes de conceptualisation des éléments musicaux.

**Contexte** Plateformes virtuelles.

— **Rationalisation de l'expérience utilisateur**

**Justification** L'ergonomie cognitive est essentielle pour une interaction efficace entre les utilisateurs, les systèmes et le contenu d'apprentissage.

**Mécanisme** Privilégier des informations sonores et visuelles claires et concises. Éviter la redondance et tenir compte du rôle de la mémoire et de l'attention.

**Objectif, implémenteur et utilisateur** Permettre aux développeurs de concevoir des interfaces qui minimisent les fonctionnalités et les distractions insignifiantes, permettant aux utilisateurs de concentrer leur attention sur les tâches d'apprentissage pertinentes.

**Contexte** Plateformes virtuelles.

— **Tirer parti de l'engagement**

**Justification** La gamification et les jeux sérieux créent des environnements stimulants familiers aux étudiants en raison de leur présence dans d’autres applications.

**Mécanisme** Utiliser des mécanismes tels que les niveaux progressifs, le classement par pairs, le suivi des progrès, des parcours d’apprentissage clairs, la narration et le feedback instantané.

**Objectif, implémenteur et utilisateur** Permettre aux développeurs de créer des expériences qui s’appuient sur la narration, des fonctionnalités immédiates et des éléments de gamification pour stimuler la motivation à l’apprentissage de la matière.

**Contexte** Plateformes virtuelles.

## 4.2 Projet “Le Numérique pour l’Optimisation des Apprentissages Musicaux” (NOAM)

Cette thèse a été liée dès le départ au projet de recherche « Le Numérique pour l’Optimisation des Apprentissages Musicaux » (NOAM) de l’Institut de Recherche en Musicologie (IReMus). Ce projet de recherche visait à étudier l’application du numérique aux apprentissages auditifs et musicaux et à développer un outil pour mettre en pratique les résultats de ces recherches. Cependant, l’instabilité liée à la crise sanitaire du Covid-19 a été un facteur qui a modifié le plan et les résultats prévus.

### 4.2.1 Problématique

L’avènement du numérique a radicalement transformé les méthodes de formation, permettant un apprentissage flexible, décentralisé, accessible à tout moment et en tout lieu grâce aux outils mobiles et aux réseaux de télécommunication. Ce changement a aussi modifié la relation à la connaissance, passant d’une structure autoritaire et linéaire à un modèle plus polycentrique où diverses sources d’autorité coexistent. Dans le domaine de l’éducation artistique et spécifiquement musicale, le numérique a offert de multiples ressources comme

des bases de données de partitions, des outils pédagogiques, des applications pour l'entraînement auditif, des logiciels de composition, et des technologies immersives telles que la réalité virtuelle.

L'utilisation des outils et instruments numériques dans l'éducation musicale s'est développée de façon disparate, tant dans les contextes institutionnels que commerciaux. Certains outils numériques comme la documentation, le partage de fichiers, et l'édition de partitions sont intégrés dans les pratiques enseignantes. Cependant, leur application dans la formation auditive et musicale reste limitée. Des applications et sites web existent pour l'apprentissage du solfège et l'entraînement auditif, mais leur utilisation académique est faible. Ces outils sont souvent critiqués pour leur champ d'application restreint, le contenu musical inadapté, et un manque de fondement pédagogique solide.

Par exemple, Solfégo [381] se concentre uniquement sur la reconnaissance d'intervalles, la lecture de notes et offre quelques quiz. Tonedear [170] propose des exercices d'identification d'intervalles et d'accords, tandis qu'Earmaster [571], qui est légèrement plus complet, couvre des domaines tels que les intervalles, les accords, les gammes, les progressions harmoniques, et les rythmes. Toutefois, ces outils négligent souvent des aspects cruciaux de la musique tels que le timbre, la texture, l'espace, et l'expressivité.

L'efficacité réelle de ces outils sur l'apprentissage musical est donc questionable. Bien que séduisants par leur interface et leur facilité d'utilisation, ils offrent souvent un faible bénéfice éducatif et ne compensent pas le manque de médiation pédagogique. En conséquence, ils s'avèrent souvent inutilisables dans un cadre d'enseignement institutionnel, conduisant à un désengagement et à la désinscription des utilisateurs. Ces ressources sont majoritairement conçues pour un public amateur et ne répondent pas aux exigences d'un enseignement académique structuré.

Il est essentiel de repenser l'usage du numérique dans l'optimisation des apprentissages auditifs et musicaux en milieu institutionnel. Une étude de la Direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance (2014) [204] révèle que les bénéfices du numérique en éducation sont liés à l'adoption de stratégies pédagogiques innovantes. Il s'agit donc de définir des stratégies efficaces pour améliorer l'apprentissage et de comprendre la synergie entre les sessions en

présentiel et les ressources numériques. Une utilisation judicieuse du numérique peut, par exemple, renforcer l’autonomie des étudiants en offrant des retours immédiats sur leurs performances, transformant l’erreur en une opportunité positive pour l’apprentissage.

Il est également crucial de considérer les découvertes en psychologie et en neurosciences cognitives pour concevoir des outils d’apprentissage efficaces. Les facteurs clés qui favorisent l’apprentissage comprennent l’attention, la mémoire de travail, la flexibilité cognitive, et la réception de feedback positif. Ces éléments, en plus des compétences sensori-motrices et perceptives spécifiques aux apprentissages musicaux, devraient être intégrés dans les programmes éducatifs pour cibler les compétences nécessaires. Par exemple, les jeux musicaux pourraient être utilisés pour développer ces capacités cognitives. La recherche sur l’Analyse de Scène Auditive [96] offre des perspectives pour aborder les difficultés spécifiques des étudiants en musique et pour développer des interventions ciblées basées sur des principes scientifiques solides liés à la perception auditive. Ces approches doivent être intégrées pour maximiser l’efficacité de l’enseignement musical numérique.

### 4.2.2 Description du projet de recherche

Ce projet s’articulait autour de deux axes majeurs, qui ont dû être modifiés en raison des restrictions liées à la crise sanitaire du Covid-19.

Le premier axe concernait une recherche fondamentale en didactique de la musique, visant à explorer l’utilisation des technologies numériques pour améliorer les compétences auditives et musicales des apprenants. Cette recherche s’intéressait aussi aux contributions des neurosciences cognitives dans l’éducation musicale et l’analyse d’œuvres.

Ce volet incluait l’organisation de quatre ateliers durant la première année, réunissant des experts en cognition et neuro-éducation. Ces ateliers étaient ouverts à l’équipe du projet et à d’autres membres de l’IReMus. Par ailleurs, un colloque sur le numérique dans l’enseignement musical (en cours de réalisation) se tiendra, débouchant sur la publication d’un ouvrage collectif.

Le second axe portait sur une recherche appliquée dont l’objectif était de



développer un site web pour optimiser les aptitudes auditives et musicales. Cette plateforme en ligne, principalement destinée aux étudiants en musicologie, aurait été également accessible aux élèves des conservatoires et d'autres institutions musicales supérieures sur inscription.

L'idée de création de ce site ne cherchait pas à remplacer les cours traditionnels de formation musicale, d'écriture ou d'analyse, puisque l'interaction directe avec un enseignant et les pratiques de groupe en classe étaient jugées essentielles pour une intégration adéquate des connaissances musicales. L'outil numérique était destiné à être un support complémentaire pour les étudiants, leur offrant la possibilité d'améliorer leurs compétences hors des cours grâce à un *feedback* immédiat et un profil personnalisé basé sur l'analyse des résultats et du temps passé sur chaque module. Pour les enseignants, cela aurait permis un suivi plus détaillé et personnalisé des progrès de chaque étudiant.

### **4.2.3 Modification des objectifs par rapport à la crise sanitaire**

Malgré la mise en place d'une équipe de travail et un engagement actif au sein de l'IREMus, plusieurs aspects du projet ont dû être modifiés en raison de la crise sanitaire.

Tout d'abord, bien que le projet ait été lancé en 2020, année marquée par la pandémie de Covid-19 et les confinements mondiaux, l'impossibilité de prévoir l'environnement de travail a eu un impact sur son avancement. L'année universitaire 2020-2021, qui a vu le démarrage du projet, a été marquée par l'adaptation constante des membres de l'équipe (principalement des enseignants universitaires) à de nouvelles situations d'enseignement, tous les deux mois environ, en fonction des réglementations gouvernementales et universitaires. Si la visioconférence a permis de poursuivre les travaux, la charge de travail accrue et le flux de travail en constante évolution ont manqué de stabilité, ce qui a eu un impact sur la quantité et la qualité des réunions.

Un élément clé du plan pour le développement optimal de ce projet aurait été ma pleine implication, rendue possible par l'obtention d'un financement de thèse doctorale via un contrat doctoral du Collegium Musicae. Malheureusement, cela ne s'est pas concrétisé.

## 4.2. Projet “Le Numérique pour l’Optimisation des Apprentissages Musicaux” (NOAM)321

Une autre possibilité envisagée dans le plan du projet était la collaboration avec une société de jeux sérieux dans le cadre du dispositif CIFRE. Cependant, en raison de l’instabilité générale de la fin 2020 et du début 2021, aucune entreprise n’a accepté de collaborer au projet, malgré l’intérêt initial de quelques sociétés établies. Ce manque de collaboration s’est traduit par une allocation moindre de ressources pour le bon développement du projet.

En 2021, un atelier conduit par Hervé Platel, professeur de neuropsychologie à l’Université de Caen a été organisé avec une large participation des membres. Tout au long de l’année, de multiples réunions ont eu lieu pour discuter de l’orientation pédagogique du projet et des aspects clés à aborder dans le développement des exercices.

L’année académique 2021-2022 a également été fortement perturbée par les couvre-feux, limitant les rencontres en personne. De plus, la recherche sur le contexte social et pédagogique entourant l’utilisation d’applications d’entraînement de l’oreille a pris de l’ampleur. Cet aspect, bien qu’initialement pas entièrement prévu, a été jugé précieux pour acquérir une compréhension plus approfondie de la question de recherche.

La pandémie de COVID-19 a obligé les membres de l’équipe à assumer des responsabilités différentes dans leurs autres activités professionnelles, ce qui a conduit à une implication moindre de l’équipe initiale lors des réunions suivantes. Malgré cela, des réunions en personne ont tout de même été possibles tout au long de l’année universitaire 2022-2023.

En 2023, j’ai obtenu le soutien financier du Collegium Musicae, ce qui m’a permis d’allouer des ressources supplémentaires au développement de ce projet de recherche.

Enfin, grâce aux rencontres avec les membres du groupe NOAM, nous avons pu développer des méthodes alternatives d’évaluation des compétences auditives. Bien que ces exercices n’aient pas eu suffisamment de variations pour être testés auprès d’étudiants en musicologie, le processus lui-même témoigne d’un progrès dans l’étude et la réévaluation de la problématique. Il offre une perspective large et multidimensionnelle sur la question de recherche telle qu’elle est perçue à la fois par les chercheurs et les acteurs clés, et pose les bases de futures études.

### 4.3 Stage au Collegium Musicae

Entre janvier et mai 2023, j'ai reçu un soutien financier du Collegium Musicae pour développer une version bêta d'une application web destinée au développement des compétences auditives des étudiants en musicologie. L'objectif était de créer un site web interactif en utilisant WordPress dans un délai de cinq mois afin d'explorer des exercices alternatifs de développement de l'oreille musicale.

Ces exercices devaient être développés en collaboration avec des enseignants de Sorbonne Université. Le cadre conceptuel visait à intégrer des fonctionnalités de gamification tout en ancrant les exercices dans les théories de l'analyse de la scène auditive, des stratégies métacognitives et de l'imagerie musicale.

Cependant, les objectifs et les méthodes du projet ont évolué tout au long de la phase de développement. L'implication des enseignants, tout en enrichissant les discussions et les réflexions sur le sujet, a entraîné des retards supplémentaires dans la création des exercices. Malgré cela, le processus a favorisé le débat, la réflexion et la proposition de méthodes alternatives d'évaluation de l'expertise auditive, même si cela s'est traduit par un nombre réduit d'exemples d'exercices.

#### 4.3.1 Utilisation de la plateforme Moodle et H5P

Le site web visait à être :

- Accessible et responsif sur les smartphones.
- Permettre aux étudiants et aux enseignants de créer des comptes.
- Suivre les progrès des élèves.
- Créer un tableau de bord pour le suivi des progrès par les étudiants et les enseignants.
- Permettre de présenter des tâches avec différentes options basées sur l'audio.
- Inclure des fonctionnalités de gamification telles que des récompenses en fonction du temps, des barres de progression, un chat de groupe et des points d'expérience.
- Permettre l'utilisation de l'écran tactile pour répondre.
- Afficher des messages encourageant les comportements métacognitifs et

le développement de l'imagerie musicale.

La possibilité d'utiliser le microphone pour répondre aux questions s'est avérée très précieuse.

Bien que l'équipe ait eu connaissance de l'existence de fonctionnalités similaires dans d'autres applications, la complexité de la mise en œuvre s'est avérée plus difficile que prévu.

En préparation à ce projet, j'avais suivi des cours de développement web *front-end* (HTML, CSS et Javascript) via la plateforme d'apprentissage en ligne *FreeCodeCamp* <https://www.freecodecamp.org/>. Cependant, la création et la gestion des comptes d'utilisateurs (développement *back-end*) dépassaient mes compétences. Il s'est avéré difficile de trouver un expert en développement web pour collaborer, car les professionnels de l'informatique de l'université n'étaient pas spécialisés dans ce domaine ou disposaient de peu de temps pour un tel projet.

Face à cette situation j'avais opté pour utiliser la plateforme WordPress pour la création du site car il présente les caractéristiques suivantes [484] :

- Gratuit et open-source : Téléchargement et utilisation gratuits, grande communauté de développeurs.
- Facilité d'utilisation : Le système de gestion de contenu (CMS) basé sur WYSIWYG (*What You See Is What You Get*) permet aux utilisateurs de voir et d'éditer directement le contenu de leur site web sans avoir à écrire de code.
- Flexibilité et personnalisation : Thèmes et extensions pour modifier l'apparence et les fonctionnalités.
- Large communauté et support : Aide et support facilement disponibles.
- Référencement naturel (SEO) : Optimisé pour un meilleur classement dans les moteurs de recherche.
- Sécurité : Plateforme relativement sécurisée avec des mesures de protection disponibles.
- Évolutivité : S'adapte aux besoins croissants en ajoutant de nouvelles fonctionnalités et du contenu.
- Large choix d'extensions : Fonctionnalités presque infinies grâce aux extensions disponibles.

- Compatible avec les appareils mobiles : Affichage correct sur tous les appareils.
- Coût-efficacité : Solution de création de site web très rentable.

À l'origine, j'ai créé un site WordPress en pensant pouvoir y développer l'application web. Cependant, j'ai rencontré plusieurs problèmes. Premièrement, il était difficile d'obtenir un service d'hébergement web de l'université. Raison pour laquelle j'ai utilisé un service gratuite de manière provisoire. Cependant, ce service gratuit que j'ai utilisé a fini par compromettre la sécurité et les performances.

Même si le fait de demander de l'aide à l'université aurait pu résoudre ce problème, d'autres complications plus importantes sont apparues. Les plugins utilisés par Nicolas Marty pour son application BbMAT (qui m'a servi de modèle) n'étaient plus compatibles avec la version actuelle de WordPress. Les plugins restants permettant de poser des questions audio offraient des fonctionnalités et des possibilités limitées.

Face à ce défi, le LMS Moodle s'est avéré être une meilleure option. Le service Informatique pour la Pédagogie et la Recherche de la Faculté des Lettres de Sorbonne Université dirigé par Florence Le Priol a aidé l'équipe NOAM à découvrir les fonctionnalités de Moodle et en plus lui a présenté H5P.

Moodle a été choisi parce qu'il est un système de gestion de l'apprentissage (LMS) robuste et sécurisé conçu pour créer des environnements d'apprentissage personnalisés pour les éducateurs, les administrateurs et les apprenants. Avec une haute accréditation WCAG 2.1 (des règles qui rendent les contenus accessibles à une large population), Moodle offre trois méthodes de distribution officielles : le téléchargement du logiciel open-source, l'achat d'un site MoodleCloud géré, ou la collaboration avec des partenaires certifiés pour des configurations personnalisées. La plateforme, créée il y a plus de 20 ans par Martin Dougiamas, est financièrement soutenue par plus de 104 partenariats mondiaux et des intégrations valorisées. Fiable pour des institutions comme Shell et Google, Moodle est la plateforme d'apprentissage la plus utilisée au monde, mettant l'accent sur la pédagogie constructiviste sociale et fournissant un ensemble d'outils centrés sur l'apprenant. Offert gratuitement sous la licence publique générale GNU, Moodle est disponible en plusieurs langues, possède

une documentation extensive, des forums 24/7, et des ressources éducatives gratuites, assurant une accessibilité et une personnalisation globales sans frais de licence.

Cependant la découverte de h5p <https://h5p.org/> a été plus importante pour prendre le choix. H5P est un plugin pour les systèmes de publication existants. Il permet à ces systèmes de créer du contenu interactif tel que des vidéos interactives, des présentations, des jeux, des questionnaires et bien plus encore.

H5P est comme une boîte à outils pour créer des supports d'apprentissage interactifs. H5P est un projet *open source* piloté par une communauté pour encourager la création de contenu. Il propose des éléments pré-fabriqués (Bibliothèques H5P) tels que des quiz ou des vidéos que vous pouvez utiliser, un organisateur (H5P Core) pour tout gérer, et un éditeur (H5P Editor) pour assembler facilement le tout. Vous pouvez même trouver et partager des créations ou stocker les vôtres dans une bibliothèque en ligne (H5P Hub). Des kits de compatibilité (Intégrations de plateformes) agissent comme des adaptateurs, vous permettant d'utiliser H5P sur des plateformes populaires comme WordPress ou Moodle.

H5P a été choisi en raison de plusieurs fonctionnalités clés : des éléments de gamification pré-intégrés, une intégration réussie avec Moodle et la possibilité d'exporter du contenu vers d'autres systèmes de gestion de l'apprentissage (LMS) ou même WordPress ou Drupal. Cette fonction d'exportation a le potentiel de faciliter une collaboration plus large entre les universités sur les cours de formation auditive.

### 4.3.2 Logiciels utilisés pour le matériel

Les logiciels utilisés pour créer le matériel des exercices était :

**Melodyne 5** Melodyne <https://www.celemony.com/en/melodyne/what-is-melodyne> est un logiciel d'édition audio puissant qui permet de manipuler la hauteur, le timing et le formant des notes individuelles d'un enregistrement audio. Il est particulièrement utile pour corriger la justesse des voix et des instruments,

modifier le rythme et la synchronisation, et créer de nouveaux sons. Melodyne est disponible en plusieurs éditions avec des fonctionnalités différentes, et est utilisé par des musiciens, producteurs et ingénieurs du son.

**Banques de sons** Les banques de sons sont des collections numériques regroupant une multitude de sons enregistrés, organisés pour une utilisation facile par les créateurs de contenu audio et visuel. Elles offrent une grande variété de sons (bruitages, musiques, ambiances...), permettant d'enrichir les projets et de gagner du temps. Gratuites ou payantes, les banques de sons répondent à divers besoins et budgets. Le choix se fait en fonction de la qualité des sons, de la variété des catégories, des options de recherche, des licences et des avis des utilisateurs.

**Audacity** Audacity <https://audacity.fr/> est un logiciel libre d'édition audio disponible sur plusieurs plateformes. Il permet d'enregistrer, d'éditer et d'analyser des fichiers audio, d'appliquer des effets et de convertir des formats. Puissant et polyvalent, il est adapté à la production musicale, au montage audio, à la restauration et à la numérisation d'audio. Son interface intuitive, ses nombreux outils et son extensibilité en font un choix idéal pour les débutants et les professionnels.

**Muscore** Muscore <https://musescore.org/fr> est un logiciel gratuit et open-source de création de partitions musicales. Doté d'une interface intuitive, il permet de composer, d'éditer, de lire et de partager des partitions de qualité. Ses fonctionnalités puissantes et sa communauté active en font un outil idéal pour la notation musicale numérique.

### 4.3.3 Exemples d'exercices

Dans cette sous-section vous trouverez des liens vers l'enregistrement de l'écran du cours Moodle sur lequel à travers H5P nous avons élaboré les exercices.

Écoute intérieure et mémorisation <https://youtu.be/5SupHhYAB5M>

Mémorisation d'une ligne de basse <https://youtu.be/Jptnu1Kmm9A>

## 4.4 Élaboration d'exercices pour les apprentissages auditifs

Pendant les séances de travail avec l'équipe NOAM, les membres ont proposé six catégories d'éléments musicaux pouvant servir d'axes de travail. Dans cette section nous allons approfondir sur ces six catégories et donner des exemples pour chacune d'entre elles.

- Les intervalles (mélodiques et harmoniques)
- La mélodie et polyphonie (suivi mélodique, motif, phrase)
- Le vocabulaire harmonique (accords, couleurs d'accords...)
- La syntaxe harmonique (cadences, fonctions tonales, parcours tonal...)
- Le rythme (pulsation, tempo, métrique, formules rythmiques...)
- Le timbre (timbres individuels, modes de jeu, alliages de timbres, types d'attaque, couleurs...)

**Caractéristiques des matériaux** Lors des réunions le groupe a décidé que les matériaux à utiliser devaient partager les caractéristiques suivantes :

- préserver la qualité du son et la musicalité des sons et d'interprétations enregistrés (limiter l'élaboration des fichiers midi et l'utilisation d'instruments virtuels),
- diversifier les timbres et les formations (différents timbres instrumentaux ou vocaux, musique soliste, musique de chambre, musique d'orchestre, musique vocale et instrumentale...),
- diversifier les styles, les époques, contextes musicaux (du moyen-âge au XXe s, modal, tonal, atonal...),
- diversifier les caractéristiques globales (registres, les ambitus, les tonalités, les tempi, les rythmes...).

Le groupe a défini aussi plusieurs types de tâches ou d'activités (types de jeux ou d'exercices) qui mettent en jeu des compétences perceptives et cognitives :

- Repérer un élément musical ou un motif dans une série ou dans un extrait musical monodique ou polyphonique
- Dépister les erreurs ou les modifications faites aux enregistrements



- Suivre une ligne mélodique dans une polyphonie (voix secondaire ou basse, sujet de fugue)
- Comparer et choisir entre deux ou plusieurs possibilités la bonne réponse
- Compter les occurrences d'un événement type (un intervalle, un rythme, un motif...)
- Anticiper la suite des événements
- Remplir les vides...
- Identifier et nommer des éléments musicaux
- Mémoriser et restituer des éléments
- Chanter, rechanter (si possible techniquement) : gamme, intervalle, motif, le point d'appui ou le motif initial d'une phrase, d'un thème du répertoire, rechanter une phrase mélodique avec un codage chiffré correspondant aux degrés de l'échelle

Ces types de tâches peuvent être complétés par des compétences théoriques (vocabulaire, définition, connaissances stylistiques et historiques...).

Voici une description d'exercices types proposés pour chaque catégorie.

### Les intervalles

Afin de maintenir un lien avec l'harmonie tonale, il est conseillé de reconnaître les intervalles par rapport à une tonalité centrale. Par exemple, la reconnaissance des intervalles peut se faire en suivant les exercices d'oreille de Charlie Banacos [440], qui consistent à jouer une cadence en premier (par exemple I-IV-V-I), puis à commencer par jouer une seule note diatonique dans la tonalité et à continuer en ajoutant des notes chromatiques. Une alternative pourrait consister à jouer la tonique avant l'intervalle cible.

**Comparaison d'intervalles** Avec les banques de sons, il est possible de créer des exercices de comparaison d'intervalles. Les intervalles mélodiques peuvent être présentés dans une progression de difficulté pour l'étudiant, en commençant par l'identification d'intervalles dans son instrument, puis dans la famille d'instruments similaires à celui de l'étudiant, puis dans d'autres instruments, et enfin dans des octaves différentes. Pour les intervalles harmoniques il est aussi intéressant de proposer l'écoute entre deux instruments des différents timbres.

**Classification des motifs selon l'intervalle de départ** L'intégration avec le contexte musical pourrait se faire, par exemple, en classant les motifs des différents répertoires selon l'intervalle de départ. Plusieurs motifs peuvent être repérés grâce aux dictionnaires des thèmes musicaux comme le *A Dictionary of Musical Themes* de Sam Morgenstern and Harold Barlow. Il existe aussi un site web (<https://www.musipedia.org/>) qui permet de retrouver des motifs dans d'autres répertoires. Cependant, en lien avec les théories étudiés dans cette thèse la suggestion principale serait d'utiliser le répertoire utilisé et connu par l'étudiant.

**Reproduction vocale et classification d'intervalles** Avec l'utilisation d'un microphone et un programme de reconnaissance d'hauteur vocale, il serait intéressant de présenter un intervalle dans la tessiture de l'étudiant, demander qu'il soit reproduit et puis classifié.

### La mélodie et polyphonie

La compréhension et la mémorisation des mélodies et des polyphonies constituent un travail essentiel dans cette nouvelle perspective, car elles permettent un apprentissage intégral des éléments musicaux.

**Dépistage d'erreurs** Grâce à Melodyne, il est possible de modifier les enregistrements de la hauteur des notes de mélodies simples ou de polyphonies. Ces enregistrements modifiés sont ensuite présentés à l'écoute en comparaison avec l'audio original. Ce type de contenu permet de poser les questions suivantes :

- Les deux extraits audio sont-ils similaires ?
- Combien de notes ont-elles été altérées ?
- Quelle hauteur a remplacé la note modifiée ?

Dans le cas d'une polyphonie, il est possible de demander si la note modifiée est à la basse ou dans un autre instrument. Une question également intéressante est le dépistage d'une modification mélodique à la basse ou dans une voix secondaire d'un passage mémorisé au préalable.

La notation du motif peut être présentée pour demander si elle correspond à la version entendue.

**Restitution des motifs** Des motifs sont présentés pour être mémorisés par le chant. Les élèves doivent ensuite les restituer, soit en remettant des fragments de notation dans le bon ordre, soit en identifiant les noms des notes. Dans le cas où l'utilisation d'un clavier virtuel est possible, les étudiants peuvent également restituer les motifs en cliquant sur les touches correctes.

**Écoute intérieure et mémorisation** Cet exercice vise à renforcer le lien entre l'écoute et la notation musicale. Il consiste à présenter une ligne mélodique ou de basse sous forme de partition, accompagnée de l'audio de la note de départ et/ou de la gamme correspondant à la tonalité. L'objectif est de retrouver la mélodie originale parmi plusieurs versions modifiées. Dans une autre variante, la mélodie doit être mémorisée à partir d'un enregistrement audio, puis reconstituée à partir des mesures désordonnées de la partition.

Il serait également travailler la mémorisation d'une séquence mélodique avec des distracteurs. Par exemple, il y aurait l'écoute de la mélodie, l'écoute d'un extrait (distracteur) avec un tâche à accomplir (par exemple compter le nombre de coups de triangle), puis rappel de la séquence mélodique (par exemple choisir laquelle est la bonne parmi une correcte et une fausse).

**Identification de contours** Identification de contours mélodiques (ascendants et descendants) en fonction de la complexité du contour (nombre de notes successives, ambitus).

**Discrimination de variations musicales** Discerner parmi deux ou trois variations celle qui correspond au thème entendu au préalable (l'un des deux extraits étant une variation d'un autre thème). Identifier parmi deux transcriptions pour orchestre celle qui correspond à la version originale pour piano. Déterminer parmi deux transcriptions pour piano celle qui correspond à la version originale pour orchestre .

**Discrimination de séquences musicales** Juger de la cohérence de deux propositions d'enchaînement musical, en tenant compte du langage musical utilisé

(tonal, atonal, électro-acoustique). Prédire la suite d'un morceau après en avoir écouté le début, en choisissant parmi 2 ou 3 propositions.

### **Le vocabulaire harmonique**

L'apprentissage auditif d'accords se fait aussi avec un lien au répertoire d'étude. Les étudiants peuvent partir d'une base commune aussi, avec des pièces du répertoire populaire, et des pièces simples du répertoire étudié.

**Identification d'accords dans une séquence** Dans cet exercice, des pièces avec des séquences simples sont présentées. L'objectif de l'exercice est de reconnaître la couleur des accords. La difficulté des pièces est progressive : au fur et à mesure que l'étudiant avance, les extraits des pièces présentées sont plus complexes (accords de trois, quatre ou cinq sons).

**Identification d'un mode** Un mode est présentée en audio et en notation. Ensuite, plusieurs mélodies sont présentées. L'étudiant doit choisir celle qui correspond au mode présenté. Il peut être intéressant d'ajouter un son distracteur de hauteur non définie puis une mélodie ou une gamme différente joué par un autre instrument. D'abord les modes majeur et mineurs sont présentés, puis les modes anciens et des modes hors système tonal (pentatonique anhémitonique / hémitonique, gamme par tons entiers, mode andalou, échelle octotonique, modes de Messiaen...).

**Identification des intervalles d'un accord** Identification des intervalles composant un accord et de la tonique, tierce, quinte, etc... après l'écoute d'un seul accord plaqué ou arpégé. Comme alternative on peut demander le dépistage de la note absente de l'accord (après avoir entendu l'accord complet).

### **La syntaxe harmonique**

Dans cette section, les étudiants doivent faire un lien entre les accords et leur fonction par rapport à une tonalité.

**Identification d'accords dans une cadence en isolément** Les cadences sont présentées en audio à l'état fondamental, sans notation. Ensuite, la cadence est présentée avec un ou plusieurs accords manquants. L'étudiant doit identifier le type d'accord qui correspond à la cadence. Progressivement les accords sont présentés en renversements, puis la complexité des cadences augmente.

**Remplissage d'une séquence d'accords** A partir d'un modèle de cadence l'étudiant doit remplir les accords manquants dans une séquence. Dans un premier temps les accords seront présentés en position fondamentale, puis en renversements et en différentes tonalités par rapport au modèle.

**Identification de cadences au sein d'extraits plus larges** Un extrait d'une pièce est présenté. L'étudiant doit reconnaître de quelle cadence il s'agit. Dans un niveau plus élevé, des pièces avec changement de tonalité sont présentés. Les étudiants doivent reconnaître avec et sans la partition la fonction tonale d'un accord.

**Identification d'emprunts, modulations et transpositions** Identification du nombre de modulations dans une séquence musicale. Puis on demande de faire le dépistage de la position de la (ou des) modulation(s) en cliquant au moment du changement. Dans un exercice alternatif on demande d'identifier des tonalités traversées. Il serait aussi intéressant proposer le repérage d'une transposition (par exemple lors de retour d'un thème).

## **Le rythme**

**Identification de motifs rythmiques** Un extrait avec un motif rythmique est présenté pour mémorisation. Puis un autre extrait avec le même ou un légèrement différent motif est présenté. Dans un niveau supérieur d'éléments musicaux simultanés avec un ou plus motifs rythmiques sont présentés comme distracteurs.

**Identification de la notation correcte** L'extrait d'une pièce est présenté et l'étudiant doit choisir la notation correcte parmi plusieurs options de notation.

Dans un premier temps, il s'agit d'un seul instrument avec des formules rythmiques simples. Dans un niveau plus avancé, l'instrument cible fera partie d'un ensemble et les formules rythmiques seront plus complexes.

**Identification des métriques** Dans cet exercice, des extraits de pièces avec différentes métriques sont présentés. L'étudiant doit reconnaître la métrique correcte. La progression se fait en partant de métriques communes et d'interprétations où la métrique est très claire et habituelle (binaire ou ternaire) pour aller jusqu'à la reconnaissance des métriques irrégulières, des polymétries, et des interprétations où les métriques sont moins marquées.

**Identification des types de danse** Identification des types de danse (ex. danses baroques : sarabande, gigue, menuet...).

**Identification du tempo, pulsation, synchronisation** A partir d'une pulsation de référence nous pouvons demander l'identification du mouvement (à partir d'une liste de noms de mouvements : adagio, andante...). De manière similaire nous pouvons donner une pulsation avec le métronome et demander l'identification de la valeur métronomique de la pièce. De manière alternative nous pouvons faire le dépistage des accélérations ou ralentissements (avec des pentes plus ou moins fines), dépistage de l'endroit dans la séquence sonore où se situe l'accélération ou le ralentissement, dépistage du rubato de la main droite (avec des degrés de désynchronisation plus ou moins élevés), dépistage de la pulsation : un bip est superposé à une séquence musicale, le bip est synchrone ou non avec la bonne pulsation (le degré de difficulté est fonction de la clarté de la pulsation dans la séquence et aussi du tempo de la séquence). Finalement nous pouvons faire aussi l'identification de la bonne ou mauvaise synchronisation entre les instruments dans une polyphonie/polyrythmie et le dépistage de l'instrument non synchrone avec les autres dans une polyphonie/polyrythmie

### **Le timbre, la texture, l'expression**

Le timbre n'est pas souvent considéré comme un aspect étudié dans les cours d'*ear training* habituels. Cependant, il s'agit d'un élément important de la

pratique musicale, car il constitue le son caractéristique de certains musiciens et styles.

**Identification des modes de jeu d'instruments** Dans l'instrument de l'étudiant, des modes de jeu liés au répertoire étudié sont présentés pour être identifiés. Ensuite, des modes de jeu d'autres instruments dans ce même style sont présentés.

**Identification d'une voix d'une polyphonie** Identifier le nombre de voix d'une polyphonie (de 2 à 6); la difficulté peut être fonction de la formation (timbres homogènes ou non, instrument seul ou ensemble...) et de la complexité de la polyphonie ou homophonie. repérage d'une mélodie célèbre insérée dans une voix secondaire d'une polyphonie (ex. mon beau sapin en voix intermédiaire). Dépistage d'un motif appartenant à la basse ou à une voix secondaire (motif entendu au préalable); la difficulté peut être fonction du mixage (la voix cible pouvant être plus ou moins au premier plan), de la formation (timbres homogènes ou non), de la complexité de la polyphonie. Repérage d'un thème entendu préalablement (par exemple, est-il à la basse, au soprano ou en voix intermédiaire). Identifier quelle est la voix principale dans une polyphonie

**Identification d'entrées d'une fugue** Les fugues représentent une bonne opportunité de travailler la mémoire auditive. Nous pouvons demander d'identifier le nombre d'entrées dans une fugue dans un extrait. Puis on peut demander de dépister les entrées d'une fugue en cliquant au moment de l'entrée de la voix.

**Identification des couleurs sonores et d'éléments timbriques** La focalisation de l'attention vers le timbre nous permet de donner des nouvelles manières de caractériser la musique en termes des couleurs sonores. Ainsi nous pouvons questionner sur l'identification du degré de clarté sonore, rugosité, flux spectral, pente d'attaque et de relâchement. Dans les champs des musiques contemporaines et électro-acoustiques nous pouvons identifier les types de texture comme lisse/striée, micro-polyphonie, déphasage, etc.

**Identification des sources** Identifier les différentes familles instrumentales, types d'instruments (instruments occidentaux et extra-européens) à partir d'une séquence sonore (et non d'un son isolé). L'exercice peut être proposé en fonction de différents registres (en commençant par les registres usuels et ensuite avec des registres moins usuels). Nous pourrions proposer également l'identification des voix et des alliages instrumentaux de deux à cinq éléments.

**Identification de l'expression** A partir de deux possibilités entendues, discriminer celle qui possède le phrasé correct. Délimiter le bon phrasé en cliquant sur la partition. Identifier des différents types d'articulations, ornements et dynamiques.

## 4.5 Récapitulatif

Dans ce chapitre nous avons présente des lignes directrices pour une nouvelle proposition d'un outil numérique pour le soutien des apprentissages auditifs et musicaux. En synthétisant les dernières recherches en neurosciences cognitives et les besoins des apprenants, on définit la musicalité comme une capacité universelle et active, se développant dès la petite enfance. Cette approche met en lumière la complexité des processus impliqués dans la perception et la production musicales, tout en soulignant le caractère subjectif, interactif et culturelle de l'expérience musicale. En nous appuyant sur une analyse des outils numériques actuels et des théories d'apprentissage, on suggère une pédagogie plus flexible et personnalisée, favorisant l'intégration de diverses compétences musicales et l'épanouissement de chaque individu.

Les paramètres des apprentissages auditifs et musicaux se caractérisent par les aspects suivants : l'interaction avec la musique est intrinsèquement active, impliquant dès le plus jeune âge une interprétation et une perception sonore, tandis que l'expérience musicale est façonnée par la subjectivité individuelle, influencée par les connaissances antérieures ainsi que les contextes culturels et sociaux. La musicalité représente une fonction complexe, impliquant divers processus cognitifs et neuroanatomiques, et engage des interactions multiples telles que la perception, la mémoire et l'imagerie musicale. Les musiciens mobi-



lisent à la fois des processus implicites et explicites, utilisant des connaissances conscientes et inconscientes dans leur pratique. L'expérience musicale se distingue par son caractère holistique, unifiant divers éléments psychologiques, physiques et émotionnels, et est universelle, étant présente chez tous les individus indépendamment de leur formation ou de leur patrimoine génétique. En contraste, l'apprentissage musical a évolué d'une approche intégrée à une spécialisation accrue des disciplines au fil du temps.

La littérature scientifique souligne les avantages d'une approche pédagogique globale en éducation musicale, qui vise à développer non seulement les compétences pratiques des élèves, mais aussi leur conscience musicale implicite et explicite. Plutôt que d'imposer un modèle rigide, elle propose des principes adaptables aux besoins individuels. Les parcours d'apprentissage doivent être personnalisés, reflétant la diversité des perceptions et émotions des élèves, avec des activités variées favorisant une approche constructiviste. Il est crucial d'équilibrer l'apprentissage des compétences isolées et leur intégration dans des contextes musicaux complets. L'enseignement doit aussi exploiter les connaissances implicites des élèves, en combinant compréhension explicite et pratique. Une approche holistique intègre les aspects physiques, émotionnels et sociaux de la musique, enrichissant ainsi l'expérience d'apprentissage. La reconnaissance du potentiel universel des élèves encourage une attitude positive des enseignants et une meilleure réussite des élèves. De plus, une éducation auditive précoce et une approche basée sur l'improvisation pourraient offrir une expérience d'apprentissage plus intégrée, en renforçant la familiarité auditive dès le plus jeune âge.

Les principes de conception pour un outil numérique d'apprentissage auditif et musical visent à offrir un environnement holistique et personnalisé. Ils incluent l'intégration du curriculum, combinant diverses techniques pour explorer les éléments musicaux de manière globale, et l'apprentissage contextualisé, qui adapte les parcours aux antécédents et objectifs individuels des élèves. L'accent est mis sur une compréhension approfondie de la musicalité au-delà de l'instrument, ainsi que sur une expérience immersive qui englobe les dimensions physiques, émotionnelles et sociales de la musique. Les principes encouragent également le déverrouillage des connaissances implicites et

le développement de compétences multiples en équilibrant l'entraînement des compétences spécifiques avec des expériences musicales globales. Enfin, un parcours d'apprentissage personnalisé est proposé, permettant aux élèves de progresser à leur propre rythme tout en intégrant des stratégies pour améliorer leurs fonctions exécutives et métacognitives.

Pour structurer les lignes directrices, nous avons utilisé le cadre de Gregor, qui inclut des éléments tels que l'objectif, le contexte et les mécanismes. Ce cadre permet de clarifier les rôles des différents acteurs impliqués (implémenteurs, utilisateurs, exécutants, théoriciens) et de concevoir des systèmes d'information adaptés aux besoins des utilisateurs tout en exploitant les capacités du système. L'objectif est de créer un environnement d'apprentissage auditif et musical plus intégré, personnalisé et holistique, permettant aux élèves de développer une compréhension et une appréciation plus approfondies de la musique.

Les principes pédagogiques dérivés de l'étude de la formation auditive actuelle se concentrent sur plusieurs axes essentiels. L'intégration du curriculum vise à réintégrer la formation auditive traditionnelle dans les programmes modernes en combinant diverses approches pour une compréhension musicale globale. L'apprentissage contextualisé encourage la personnalisation de l'expérience éducative selon les antécédents et objectifs individuels des élèves, favorisant l'engagement actif. Le principe de musicalité au-delà de l'instrument propose d'explorer les éléments musicaux en profondeur au-delà de l'interprétation instrumentale. L'expérience immersive cherche à inclure les dimensions physiques, émotionnelles et sociales de la musique pour une compréhension holistique. Le déverrouillage des connaissances implicites encourage l'analyse active des éléments musicaux par les élèves, remettant en question la notion de talent inné. Le développement de plusieurs compétences recommande d'équilibrer l'entraînement des compétences spécifiques avec des expériences musicales globales. Enfin, le parcours d'apprentissage personnalisé préconise des outils qui s'adaptent au rythme de progression de chaque élève, intégrant des stratégies pour améliorer les fonctions exécutives et métacognitives. Ces principes visent à créer des environnements d'apprentissage musical plus intégrés, personnalisés et efficaces.

Par rapport à l'étude de l'évolution de la technologie comme soutien des ap-

prentissages auditifs les principes proposés sont les suivants : Il s'agit de placer l'élève au centre de l'apprentissage, en favorisant la personnalisation, la maîtrise des compétences et la pensée critique grâce à une utilisation stratégique de la technologie. L'intégration des outils technologiques, comme les logiciels de production musicale et les instruments numériques, est cruciale pour enrichir l'analyse musicale. Les expériences d'apprentissage doivent être engageantes, incorporant des éléments de gamification pour stimuler l'engagement des élèves. Les outils doivent offrir un contenu contextualisé et pertinent, tout en étant inclusifs et accessibles. Une mise en œuvre durable nécessite de fournir aux enseignants les ressources et la formation nécessaires, tout en évitant de considérer les outils numériques comme des solutions miracles. L'innovation pédagogique doit être intégrée dans le développement des applications pour améliorer les résultats d'apprentissage, malgré les contraintes du marché. Les outils numériques doivent créer un environnement d'apprentissage collaboratif et pertinent, soutenant les étudiants dans leur apprentissage musical, en particulier dans les classes de compétences auditives et sur les plateformes virtuelles.

Le texte propose des principes pédagogiques basés sur la neuropédagogie pour optimiser l'apprentissage auditif. Il recommande de combiner des approches intégratives, en alliant théories stimulus-réponse et constructivistes pour favoriser un apprentissage actif et social. Le développement de l'attention et des fonctions exécutives est encouragé en concentrant l'attention des utilisateurs, fournissant des retours et intégrant des pauses pour améliorer ces capacités. L'engagement cognitif global en musique est stimulé par l'utilisation de divers stimuli musicaux, le chant, le mouvement corporel et des stratégies métacognitives pour enrichir l'imagerie musicale. La rationalisation de l'expérience utilisateur implique la création d'interfaces claires et ergonomiques pour réduire les distractions. Enfin, le texte suggère de tirer parti de l'engagement en incorporant la gamification et les jeux sérieux, avec des éléments motivants tels que les niveaux et le feedback instantané, pour rendre l'apprentissage auditif plus efficace et engageant.

Le projet « Le Numérique pour l'Optimisation des Apprentissages Musicaux » (NOAM) vise à appliquer des technologies numériques à l'apprentissage auditif et musical, en développant des outils pédagogiques innovants. Cependant, la

pandémie de COVID-19 a perturbé les plans initiaux, modifiant la portée et les objectifs du projet. NOAM se concentre sur l'utilisation des outils numériques pour améliorer les compétences musicales, mais note que l'intégration de ces outils dans l'enseignement formel reste limitée. Le projet met l'accent sur l'importance d'approches pédagogiques basées sur la neuroscience et la psychologie cognitive pour optimiser l'apprentissage. Malgré les défis liés à la crise sanitaire, des ateliers et des réunions ont été organisés, et le projet a progressé, bien que certaines initiatives, comme la collaboration avec des entreprises de jeux sérieux, n'aient pas abouti. Le soutien financier obtenu en 2023 a permis de poursuivre le développement, avec des méthodes alternatives d'évaluation des compétences auditives. Le projet établit une base pour de futures études en éducation musicale numérique.

Entre janvier et mai 2023, un stage au Collegium Musicae a permis le développement d'une version bêta d'une application web destinée à améliorer les compétences auditives des étudiants en musicologie. Initialement prévu sur WordPress, le projet a rencontré des défis techniques, notamment des problèmes de compatibilité des plugins et de sécurité d'hébergement. Finalement, la plateforme Moodle, avec le plugin H5P, a été choisie pour sa robustesse et ses fonctionnalités interactives. Malgré des retards liés à la collaboration avec des enseignants, le projet a permis de développer des exercices interactifs utilisant des outils comme Melodyne, Audacity, et Musescore pour créer des contenus éducatifs.

Lors de l'élaboration d'exercices pour les apprentissages auditifs, l'équipe NOAM a identifié six catégories d'éléments musicaux à travailler : intervalles, mélodie et polyphonie, vocabulaire harmonique, syntaxe harmonique, rythme, et timbre. Les matériaux utilisés devaient conserver la qualité sonore, diversifier les timbres, styles, et époques, et inclure une variété de caractéristiques musicales. Le groupe a également défini des types d'exercices impliquant des compétences perceptives et cognitives, tels que repérer des motifs, identifier des erreurs, suivre des lignes mélodiques, comparer des options, et mémoriser des éléments musicaux. Ces exercices peuvent être enrichis par des compétences théoriques.

La dernière partie du chapitre est consacrée à la proposition des exemples d'exercices qui pourraient être développés en s'appuyant sur les lignes directrices

mentionnées. Par exemple, pour les intervalles, il est recommandé d'utiliser des exercices de reconnaissance basés sur des cadences tonales et l'ajout de notes chromatiques, de varier les difficultés avec différents instruments et octaves, et de classer les motifs en utilisant des ressources comme Musipedia. La pratique inclut également la reproduction vocale des intervalles à l'aide d'un microphone et d'un programme de reconnaissance de hauteur. En ce qui concerne les mélodies et polyphonies, il est crucial de mémoriser et de comprendre les motifs en utilisant des outils comme Melodyne pour comparer les versions originales et modifiées, et en pratiquant le chant ou la reproduction des motifs sur un clavier virtuel. Les exercices comprennent aussi l'identification des contours mélodiques et la discrimination des variations musicales. Pour l'apprentissage des accords, les étudiants utilisent des pièces populaires pour identifier les accords et les modes, et ils doivent reconnaître les composants des accords et les notes manquantes après écoute. Ces approches visent à renforcer la perception auditive et la compréhension musicale globale.

Nous avons décrit aussi des approches pédagogiques pour développer les compétences auditives des étudiants en syntaxe harmonique, rythme, et timbre. En syntaxe harmonique, les étudiants apprennent à associer les accords à leur fonction dans une tonalité en identifiant des accords dans des cadences audio, en complétant des séquences d'accords, et en repérant des emprunts, modulations et transpositions. En rythme, les exercices incluent l'identification de motifs rythmiques, la notation correcte de rythmes, la reconnaissance de métriques variées, et l'évaluation du tempo et de la synchronisation, avec une attention particulière aux problèmes de synchronisation dans des contextes polyphoniques. Pour le timbre, la texture et l'expression, les étudiants travaillent à reconnaître les modes de jeu des instruments, les caractéristiques timbriques et texturales, ainsi que les familles d'instruments. Ils comparent également des interprétations pour détecter les différences de phrasé, articulation et dynamiques, afin d'améliorer leur compréhension musicale approfondie.

Enfin, ce chapitre clôture cette recherche en proposant des lignes directrices pour le développement futur des applications de soutien à l'apprentissage auditif et musical. Nous avons également partagé notre expérience pratique dans le développement de tels outils au sein d'une université. Pour illustrer ces pro-

positions, nous avons présenté des exemples d'exercices pouvant enrichir la formation auditive des étudiants en quête de ce type de soutien.



# Conclusion

## Discussion et analyse des résultats

Dans ce projet de recherche, notre objectif a été d'étudier un large panorama des défis et opportunités liés à l'optimisation des applications d'apprentissage auditif et musical. Pour ce faire, nous avons exploré trois aspects principaux : le contexte (le développement des compétences auditives musicales), l'outil (les applications d'apprentissage auditif) et la solution proposée (l'intégration de la neuropédagogie pour améliorer le développement de ces applications). Nous avons étudié l'origine, l'évolution, ainsi que les problèmes actuels dans la formation auditive musicale. De plus, nous avons analysé l'évolution des applications d'apprentissage auditif, leurs différentes approches et leurs points communs. En parallèle, nous nous sommes intéressés aux méthodes pédagogiques en vigueur, au rôle des compétences cognitives dans l'apprentissage de la musique, ainsi qu'aux théories pédagogiques qui soutiennent l'utilisation de ces plateformes.

Pour collecter les données utilisées, nous avons conduit des entretiens avec des enseignants de formation auditive des universités et conservatoires, ainsi qu'avec des conseillères pédagogiques spécialisées dans la formation musicale et les technologies, sans oublier les développeurs d'applications. Une enquête a également été réalisée auprès des étudiants de licence et master de Sorbonne Université. Cette même enquête a été réajustée et reconduite deux ans plus tard. Nous avons également mené une revue systématique de 190 articles en anglais, français et espagnol, retraçant l'histoire, les évolutions et les tendances récentes de l'enseignement auditif-musical assisté par ordinateur, depuis la fin des années 1960 jusqu'aux avancées récentes en réalité virtuelle, en réalité augmentée et



en intelligence artificielle. Cette recherche nous a permis d'établir des lignes directrices pour améliorer le développement des applications d'apprentissage auditif. Pour concrétiser certaines de ces idées, nous avons collaboré avec des enseignants de Sorbonne Université pour concevoir des exemples d'exercices portant sur six catégories d'éléments musicaux.

En explorant l'histoire de la formation auditive, nous avons découvert que ses racines remontent au XI<sup>e</sup> siècle, avec le théoricien italien Guido d'Arezzo qui inventa le solfège et la dictée pour faciliter l'apprentissage du chant. Son système ne visait pas à décomposer la musique en éléments isolés, mais à compléter les connaissances existantes du chant et de la mémoire musicale. Il s'agissait davantage d'une technique mnémotechnique et d'un outil de transmission des savoirs. Guido utilisait les syllabes pour aider à comprendre la structure des modes musicaux et des hymnes, permettant aux étudiants de mieux les apprendre. Ces syllabes furent ensuite adaptées au système tonal et intégrées à l'éducation musicale, notamment dans le cadre des écoles et chorales du XIX<sup>e</sup> siècle. Les manuels de l'époque simplifiaient l'apprentissage de la musique en utilisant des syllabes et des chiffres pour les degrés de la gamme, introduisant progressivement les différents éléments, dans l'esprit de la pédagogie pestalozzienne. Cette approche est devenue la norme, même dans l'enseignement musical avancé. Le Conservatoire de Paris a adopté cette méthode à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, et elle s'est répandue à travers l'Europe et le monde occidental. Pendant longtemps, solfège et dictée constituaient une discipline spécialisée à maîtriser avant d'entamer d'autres activités musicales. Ces exercices progressifs restaient au cœur de la formation auditive à tous les niveaux d'enseignement. Cependant, dans les années 1970, en France et ailleurs, des éducateurs ont commencé à remettre en question cette philosophie, cherchant à moderniser les méthodes d'enseignement pour les rendre plus pertinentes aux attentes des étudiants en musique d'aujourd'hui.

Dans la littérature, la formation auditive est vue comme un sujet complexe, qui englobe un ensemble d'activités visant à développer à la fois des compétences musicales générales et des aptitudes spécifiques. Aujourd'hui, elle ne se limite plus simplement à chanter des notes (solfège) ou à écrire ce qu'on entend (dictée). Elle couvre désormais un éventail beaucoup plus large de compétences pratiques et de compréhension musicale approfondie. Sur le plan pratique, cela

inclut des exercices comme le déchiffrage à vue, la mémorisation de mélodies, la transcription musicale, la détection d'erreurs à l'oreille, le jeu à l'oreille sans partition, l'analyse musicale par l'écoute et la reconnaissance des différents éléments musicaux. Quant à la compréhension, il s'agit de se concentrer sur la manière dont la musique est structurée dans son ensemble et en détail, d'imaginer la musique sans l'écouter, d'écouter activement en réfléchissant à ce qu'on entend, d'improviser, de comprendre les liens entre les éléments musicaux et de pouvoir expliquer la musique verbalement. Des notions comme l'imagerie auditive, la compréhension musicale explicite et le développement des compétences en lecture musicale semblent être des piliers essentiels des « aptitudes auditives », à la fois comme objectifs clés et comme bases nécessaires pour progresser dans d'autres domaines de la musique.

Cette complexité rend parfois difficile pour les enseignants de pleinement exploiter tout le potentiel de la formation auditive et d'orienter correctement leurs méthodes d'enseignement. Ainsi, les recherches montrent que professeurs et étudiants perçoivent souvent cette discipline comme peu pertinente. Pour remédier à cela, la littérature suggère des changements, notamment un contenu plus varié et holistique, l'intégration de la formation auditive dans les cours instrumentaux, un apprentissage dès le plus jeune âge et une collaboration accrue avec la psychologie musicale.

En France, l'enseignement de la musique a été institutionnalisé dès le XVIII<sup>e</sup> siècle, ce qui a largement contribué à développer aussi bien les études théoriques que les techniques pratiques en création, interprétation et analyse musicale.

Au XX<sup>e</sup> siècle, l'évolution des contextes sociaux et politiques remet en question l'enseignement traditionnel général ainsi que celui de la musique. Loin de s'inscrire dans un modèle éducatif classique qui met l'enseignant au centre de l'apprentissage, les théoriciens ont mis au point d'autres systèmes pédagogiques afin de répondre aux attentes d'un plus large public, faisant des élèves les acteurs de leur apprentissage au lieu d'être des récepteurs passifs des savoirs. Les méthodologies actives et les transformations sociales des années 1960 et 1970 vont ainsi permettre de concevoir une réforme de l'enseignement du solfège et de la théorie musicale en France, en cherchant la valorisation de la pratique en intégrant davantage la "vraie" musique dans l'apprentissage.

En discutant avec les enseignants, il est évident que cette approche plus contextuelle de la formation de l'oreille musicale s'est ancrée dans le système éducatif musical français. Ils sont conscients de l'importance de relier la théorie à des exemples musicaux concrets et de faire le lien entre le répertoire et cette discipline, autrefois plus abstraite.

Cependant, l'arrivée des technologies éducatives met en lumière un certain décalage entre les avancées pédagogiques dans la formation de l'oreille musicale et les outils numériques disponibles, que ce soit en France ou à l'étranger. De nombreux professeurs de conservatoire savent que leurs élèves utilisent des applications pour s'entraîner, et beaucoup aimeraient exploiter ces technologies pour approfondir certains concepts qui ne sont pas toujours abordés en classe, ou offrir des méthodes alternatives de pratique. Pourtant, le manque de ressources, notamment en termes de temps (étant donné que les enseignants doivent déjà s'occuper de tâches multiples), limite leur capacité à analyser ces outils. De plus, le coût de certaines applications et les difficultés à obtenir des financements institutionnels dans un système largement public comme celui des conservatoires posent des obstacles supplémentaires.

Un autre facteur qui contribue à la méfiance des enseignants vis-à-vis des nouvelles technologies est le souvenir des tentatives (tentatives qui tombent à l'eau la plupart du temps et généralement dictées par un but lucratif) passées de leur introduction dans l'éducation. Ces initiatives étaient souvent basées sur des outils mal conçus, ou présentés comme des substituts aux enseignants (dans des institutions qui avaient d'autres besoins prioritaires), ce qui a renforcé un certain scepticisme.

Notre étude sur les applications dédiées à la formation auditive montre une évolution progressive vers des technologies intégrant des méthodes pédagogiques solides, validées par des professionnels de la musique. Beaucoup de premiers projets n'étaient que des expérimentations basées sur des théories de la psychologie générale ou les limites technologiques de l'époque. D'autres se contentaient de numériser des méthodes behavioristes déjà en place ou d'adapter des programmes de développement de l'oreille musicale dépassés.

Malgré cela, le désir d'offrir aux élèves des outils supplémentaires a poussé de nombreux enseignants, surtout ceux qui sont à l'aise avec la technologie, à

recommander quelques options disponibles. Pourtant, ils estiment que les outils actuels ne soutiennent toujours pas pleinement leur travail en classe.

Les enseignants ont une idée précise des fonctionnalités qu'ils souhaiteraient voir dans ces outils et très souvent, malgré leur manque d'expérience en développement informatique, ils peuvent imaginer comment elles pourraient être mises en œuvre. Cependant, comme mentionné plus tôt, ils manquent de temps pour chercher des outils adaptés, collaborer avec des développeurs, ou créer leurs propres solutions.

Il est clair qu'une adaptation complète des technologies aux théories pédagogiques et aux répertoires spécifiques serait un défi majeur pour des développeurs travaillant de manière indépendante, sans contact avec des enseignants ou d'une institution. Bien que ce marché ait du potentiel, il ne représente pas le secteur le plus lucratif dans le développement d'applications. En conséquence, les équipes de développement sont souvent petites, voire composées d'une seule personne. La personnalisation des applications pour répondre à des répertoires ou des besoins spécifiques, ainsi que la création de matériel réellement pertinent sur le plan pédagogique, ferait grimper les coûts de production de manière significative.

Face à cela, beaucoup de développeurs optent pour une approche d'apprentissage plus "générale", laissant aux enseignants le soin de personnaliser eux-mêmes les exercices.

Pendant ce temps, les étudiants, notamment ceux qui ont grandi dans un environnement numérique, explorent facilement les technologies dans tous les aspects de leur vie, y compris en musique, de la consommation à la création, même dans les pays en développement. Cependant, ces étudiants se retrouvent souvent sans guide fiable ni manière de construire un critère de sélection vers les bons outils ou les bonnes méthodes pour développer efficacement leurs compétences auditives. C'est un peu comme chercher une aiguille dans une botte de foin pour ces étudiants. Ils savent que développer leur oreille est essentiel, mais sans boussole ni carte, ils se perdent facilement parmi la multitude d'outils et de méthodes disponibles dans le marché.

Certains étudiants arrivent à l'université avec une solide base musicale, ayant souvent commencé jeunes avec le soutien de leur famille. Ces étudiants savent où

chercher des ressources et comment structurer leur apprentissage. En revanche, ceux issus de milieux socioéconomiques défavorisés, de cultures différentes, ou de familles où l'art et la musique ne sont pas une activité habituelle ou importante, se retrouvent souvent en difficulté. Non seulement les compétences musicales sont abstraites et parfois déroutantes pour eux, mais ils manquent également de méthodes pour les acquérir.

Ce manque de confiance en leurs compétences auditives peut dissuader ces étudiants de participer à des cours de performance, d'improvisation, ou d'analyse auditive. Sans des bases solides et des méthodes adaptées, ces étudiants, même motivés, peuvent se sentir dépassés par leurs camarades issus de milieux plus favorisés et, finalement, abandonner leurs ambitions avant même d'essayer de faire carrière.

Bien que la spécialisation précoce puisse être utile pour des rôles bien définis, comme interprète, théoricien de la musique ou compositeur, notamment dans le cadre de la musique classique ou des traditions musicales bien établies, l'industrie musicale, l'art, et le secteur créatif dans leur ensemble sont beaucoup plus flexibles. Ils ne se limitent pas à un seul modèle. Favoriser la diversité des parcours étudiants et offrir une éducation culturellement riche permet de mieux préparer les étudiants en musique et musicologie à un environnement de travail en constante évolution, tout en ouvrant la voie à un éventail plus large d'approches artistiques. Cette perspective enrichie pourrait, à terme, contribuer à une meilleure représentation des différents groupes sociaux et encourager l'inclusion et la valorisation d'autres formes d'art.

Les conseillers pédagogiques en musique jouent un rôle clé en comblant le fossé entre les besoins du secteur éducatif et les offres du marché. Ce rôle est souvent tenu par des enseignants expérimentés dans l'utilisation des technologies, qui aident leurs collègues à adapter les outils pour leurs cours. Notre recherche a mis en lumière le travail de ces conseillers pédagogiques, qui remettent en question les méthodes actuelles et modifient les outils existants pour mieux répondre aux besoins des enseignants. À l'échelle mondiale, des initiatives similaires émergent, visant à améliorer la formation auditive tant dans les établissements scolaires qu'en dehors. Ces conseillers pédagogiques, à l'aise avec les nouvelles technologies, collaborent souvent avec des développeurs et agissent

comme un lien entre les pratiques pédagogiques modernes et les innovations technologiques. En restant en contact direct avec les enseignants et les étudiants, ils sont en mesure de repérer les difficultés spécifiques que rencontrent certains groupes d'étudiants. De plus, certaines équipes de développement impliquent activement les utilisateurs, permettant ainsi aux conseillers pédagogiques de personnaliser les outils pour mieux répondre aux besoins de leurs classes.

Néanmoins, ces conseillers pédagogiques rencontrent un obstacle majeur, à savoir la réticence institutionnelle : l'insuffisance de ressources et de compréhension. Ils rappellent la nécessité d'un changement de culture pour mieux intégrer les technologies dans la formation des enseignants en musique et pour améliorer le développement des compétences auditives.

Pour qu'un établissement tire pleinement parti d'un outil personnalisé, il aurait idéalement besoin d'un développeur dédié. Toutefois, nous sommes conscients que cela est souvent hors de portée financière pour la plupart des institutions. Une initiative à l'échelle nationale, visant à développer une gamme de logiciels éducatifs adaptés aux méthodes pédagogiques actuelles, pourrait grandement améliorer l'utilisation de la technologie dans le domaine de l'éducation. Le modèle que nous proposons a la flexibilité nécessaire pour s'adapter à différents contextes. Bien que le contenu puisse différer d'un programme à l'autre, la méthodologie et la structure des exercices peuvent offrir une base robuste pour explorer les compétences auditives et métacognitives nécessaires pour surmonter des défis similaires.

Dans chaque cursus universitaire il y a des approches particulières, il est donc recommandé aux établissements d'enseignement supérieur souhaitant intégrer des outils numériques dans leurs pratiques pédagogiques de s'associer à un développeur informatique ou à un conseiller pédagogique spécialisé dans le numérique. Cette collaboration permettrait d'optimiser l'accompagnement des enseignants en les déchargeant des tâches techniques ne relevant pas directement de leur expertise.

Aujourd'hui, les technologies numériques, autrefois perçues comme des outils de divertissement liés aux réseaux sociaux ou aux jeux vidéo, ou comme des outils pour des tâches extrêmement complexes, se sont transformées en outils essentiels dans la vie quotidienne. Les étudiants, habitués à ces technologies, ont

de plus en plus tendance à les utiliser pour des environnements d'apprentissage en ligne, que ce soit à travers des plateformes gamifiées ou via des méthodes plus classiques.

Cette thèse ne suggère pas que la technologie soit une solution universelle pour optimiser les compétences auditives, ni qu'elle soit utile pour tous les étudiants dans tous les contextes d'enseignement musical. En effet, cette approche ne conviendra pas à tous. Chaque étudiant possède un style d'apprentissage qui lui est propre, surtout dans le développement des compétences auditives. La recherche montre que l'apprentissage est un processus complexe, souvent renforcé par l'utilisation de méthodes variées. Les outils numériques peuvent venir enrichir un éventail d'activités plus large, contribuant ainsi au développement et à l'assimilation des éléments musicaux ainsi que des compétences auditives nécessaires à leur identification et manipulation. Même si la définition précise de ces compétences dépasse le cadre de cette recherche, les témoignages des enseignants et les études consultées s'accordent pour dire qu'un apprentissage approfondi repose sur une immersion active de l'étudiant dans le matériau musical, incluant l'interprétation, l'analyse, la reconnaissance des structures musicales et leur réorganisation créative à travers la composition ou l'improvisation.

Une compréhension plus approfondie des recherches en neuropédagogie, en cognition musicale et en apprentissage multimédia peut aider à optimiser l'utilisation des ressources par les étudiants. Nous suggérons d'intégrer davantage de stratégies métacognitives dans tous les supports pédagogiques afin d'améliorer les résultats. L'application des théories modernes de l'apprentissage permet de créer des outils efficaces qui font gagner du temps et de l'argent. Cette approche permet d'éviter de développer des outils uniquement basés sur les tendances du marché éducatif et de se concentrer plutôt sur un soutien pratique. Le niveau de gamification et le type d'exercices inclus devraient être adaptés aux besoins particuliers de chaque cursus et de chaque groupe d'étudiants. Nous pensons que les outils numériques peuvent permettre une exploration plus approfondie de domaines souvent négligés, tels que le timbre, la texture et l'expression. En fin de compte, c'est à l'enseignant d'évaluer les besoins de ses élèves et de personnaliser les outils en conséquence. Un outil qui offre un soutien et un suivi des

progrès peut fournir des retours précieux sur le développement de chaque élève.

L'implémentation de ces exercices en ligne a été une occasion de tester et d'analyser comment concevoir des outils numériques pour aider à l'apprentissage de l'audition et de la musique. Créer un dialogue entre les enseignants spécialisés dans la formation auditive a été important, car cela a permis d'identifier les défis et les obstacles potentiels à l'utilisation de ces outils. Les enseignants ont échangé leurs idées et leurs expériences, ce qui nous a ouvert de nouvelles perspectives sur la formation auditive, enrichies par leur expertise. L'un des enseignants du groupe, qui possède l'oreille absolue, a partagé tant les avantages que les difficultés que cette compétence peut entraîner dans le cadre de la formation. Son retour nous a aidés à réfléchir aux exercices spécifiquement pour les étudiants qui ont cette aptitude. De plus, nous avons également pu tirer profit des connaissances d'une enseignante qui travaille avec des élèves qui se trouvent en difficulté (car, malgré leur autres compétences en musique et musicologie, ils n'ont pas reçu une formation musicale solide). Ses observations ont été précieuses pour comprendre les obstacles rencontrés par ces élèves et les stratégies qu'elle met en place pour les aider à progresser avec leurs camarades.

Avec les enseignants, nous avons également eu de longues discussions sur les attentes du programme d'études. Cet espace collaboratif nous a permis de partager les résultats des enquêtes auprès des étudiants, les conclusions de notre revue de littérature exhaustive et d'explorer ensemble les moyens d'intégrer les concepts de cognition musicale et de neuropédagogie dans l'application d'apprentissage ainsi que dans les pratiques actuelles sur Moodle. Ces réunions ont également favorisé les interactions entre le personnel informatique et pédagogique de l'université ainsi que les enseignants en formation auditive.

Les outils numériques créés s'appuient sur les théories d'apprentissage explorées et sont adaptés aux besoins spécifiques des étudiants et enseignants. Nous pensons que le dialogue continu entre enseignants, étudiants et développeurs est essentiel pour optimiser l'utilisation de la technologie dans l'éducation. De plus, le rôle des conseillers pédagogiques, en tant qu'intermédiaires entre chercheurs, enseignants et développeurs, pourrait être décisif pour concevoir des outils vraiment alignés avec les objectifs éducatifs.

Cette thèse souligne l'importance de l'approche multidisciplinaire pour rele-



ver les défis complexes liés à l'intégration des outils numériques dans l'apprentissage. Plutôt que de suggérer une solution unique, nous avons pris le temps de dresser un état des lieux complet, d'analyser les défis rencontrés et de mettre en avant la complexité du sujet. Cela montre que des solutions appropriées doivent être réfléchies de manière tout aussi nuancée et complexe.

En conclusion, nous proposons des pistes pour le développement d'outils d'apprentissage pertinents, tout en encourageant la communauté à réévaluer ses pratiques et à prendre du recul pour considérer l'ensemble du problème. Bien que la technologie puisse parfois ouvrir la voie à de nouvelles approches pédagogiques, il est crucial de ne pas confondre faisabilité technique et pertinence pédagogique.

## **Avantages et limitations de l'implémentation sur Moodle**

Comme mentionné précédemment, l'un des objectifs principaux du projet NOAM était de développer une application web dédiée à la formation auditive, en s'appuyant sur les recherches pédagogiques actuelles. Cependant, en approfondissant le sujet sous différents angles, nous avons rapidement compris qu'il était nécessaire d'explorer les obstacles pratiques, ainsi que le contexte dans lequel se trouvent à la fois les étudiants et les enseignants. Cette démarche nous a permis de mieux cerner l'ensemble du problème, mais la mise en pratique des résultats dans une plateforme concrète s'est révélée plus complexe que prévu.

L'un des principaux obstacles que nous avons rencontrés a été de trouver un partenariat avec un développeur. Nos compétences limitées en conception web ont restreint notre capacité à implémenter toutes les fonctionnalités que nous avons envisagées lors des discussions initiales. Par exemple, la création d'un site web impliquait des défis techniques, notamment pour la gestion des comptes étudiants, et nous ne disposons pas des compétences nécessaires pour obtenir un résultat pleinement satisfaisant.

Cependant, la découverte des potentialités offertes par des plateformes comme Moodle et H5P s'est avérée prometteuse, car elles présentent de nom-

breux avantages. En tant que logiciels libres, largement utilisés au sein de communautés internationales, ces outils permettaient de concevoir des exercices structurés tout en offrant la flexibilité nécessaire pour adapter facilement le contenu. Nous espérions ainsi pouvoir partager nos créations avec d'autres institutions, qui pourraient à leur tour les personnaliser en fonction de leurs besoins spécifiques.

Cependant, l'utilisation d'H5P nous a également permis d'identifier certains défis liés à la création d'un outil numérique d'apprentissage. Nous avons rencontré des limitations concernant la disponibilité et l'utilisation de certaines fonctionnalités que nous avons envisagées. Bien que ces plateformes permettent de créer sans avoir besoin de coder, des contraintes techniques ont rapidement émergé, nécessitant des ajustements entre ce que nous souhaitions obtenir et ce qui était réellement réalisable. Si les plateformes prenaient en charge l'audio, la vidéo et des éléments interactifs, elles imposaient toutefois des restrictions sur la complexité des exercices audio, ce qui nous a amenés à trouver un compromis entre nos ambitions pédagogiques et les capacités technologiques. Par exemple, des fonctionnalités comme l'enregistrement via microphone, la reconnaissance de la hauteur des sons, ou encore le dessin de contours mélodiques directement à l'écran auraient largement enrichi le projet. Ce processus nous a fait prendre conscience de l'importance cruciale de la formulation des questions dans l'impact sur l'apprentissage.

Un autre défi majeur que nous avons rencontré concernait la charge de travail associée à la création des matériaux audio. Notre objectif étant d'utiliser des extraits de répertoire réel provenant de performances et d'enregistrements de haute qualité, chaque fichier audio demandait une attention particulière, tant sur la durée que sur la justesse des notes (notamment pour les exercices où nous avons utilisé le logiciel Melodyne pour ajuster la hauteur). Modifier ces extraits nécessitait une solide compréhension musicale, ce qui n'était pas aussi simple que de faire un simple découpage d'audio.

De plus, la préparation d'une quantité importante de matériel audio pour les exercices nécessitait un temps considérable pour cataloguer des éléments musicaux similaires tirés d'œuvres existantes. Cela signifiait que pour créer une application riche en exercices variés, la collecte du matériel demandait plus de

temps que celui dont nous disposions. En conséquence, au lieu de créer plusieurs niveaux et variantes pour chaque exercice, nous avons choisi de nous concentrer sur la diversité des types d'exercices proposés. Malgré cette approche, nous avons manqué de temps pour intégrer toutes les idées que nous avons en tête.

Pour toutes ces raisons, nous n'avons pas pu finaliser un outil pédagogique complet à tester par les étudiants. Le manque de temps pour mener ces tests a représenté la principale limitation de cette mise en œuvre. Dans l'idéal, nous aurions souhaité tester l'outil sur un semestre, notamment auprès des étudiants suivant des cours de remise à niveau. Une question connexe dépassant le cadre de cette thèse concernait la meilleure méthode d'évaluation des compétences auditives. Bien que des tests standardisés existent dans la littérature académique, il y a peu de consensus sur les meilleures pratiques d'évaluation. Si nous avions mené une étude, nous aurions conçu notre propre test d'évaluation des compétences auditives, en intégrant les paramètres que nous avons identifiés (au-delà du rythme, de la mélodie et de l'harmonie) et en tenant compte du contexte des étudiants.

Dans l'ensemble, cette expérience de création d'exercices de formation auditive basée sur une réflexion pédagogique a été enrichissante. L'utilisation de Moodle et H5P a été particulièrement instructive, nous offrant des perspectives intéressantes sur la conception d'outils d'apprentissage en ligne. Ce processus a encouragé la collaboration entre enseignants et a permis des discussions sur les pratiques actuelles liées à Moodle et à la technologie en général. Nous espérons que cette thèse servira de point de départ pour de futures recherches dans le domaine de l'acquisition des compétences auditives et de l'utilisation des outils numériques pour accompagner l'apprentissage.

## **Perspectives de travaux futures**

Une perspective évidente pour les travaux futurs découlant de cette thèse serait de développer une application complète de formation auditive, en s'appuyant sur les recommandations proposées. Pour mener à bien ce projet et élargir le panel d'exercices, il sera nécessaire de collaborer avec une personne ou une équipe spécialisée en développement web. L'un des enseignements majeurs

de cette thèse réside dans l'étroite relation entre pédagogie et technologie dans la conception de tels outils. Les meilleurs résultats sont obtenus grâce à une véritable collaboration interdisciplinaire. Au cours de la phase de mise en œuvre, nous avons pu engager un dialogue constructif qui a montré comment un groupe diversifié peut concevoir un outil numérique qui soit à la fois pertinent sur le plan pédagogique, techniquement solide, attractif pour les utilisateurs et en phase avec les besoins réels des apprenants, le tout grâce à une planification rigoureuse. Bien que les projets multidisciplinaires soient souvent complexes à organiser et prennent du temps (notamment en raison du besoin de s'approprier le langage technique de chaque domaine), ils sont essentiels pour exploiter pleinement les ressources disponibles. Notre expérience souligne ainsi l'importance d'avoir des étapes bien définies et des moments consacrés au partage de connaissances entre disciplines.

Un autre axe de recherche prometteur dans le développement d'outils numériques pour la formation auditive est l'intégration de l'intelligence artificielle. L'IA pourrait jouer plusieurs rôles, notamment en générant du code pour créer des applications web ou des applis mobiles. Elle pourrait aussi servir à isoler ou supprimer certains instruments dans des enregistrements orchestraux. Toutefois, l'impact le plus intéressant de l'IA réside probablement dans la reconnaissance des éléments musicaux étudiés dans les exercices. L'IA pourrait analyser les fichiers audio pour identifier des passages ou des caractéristiques musicales spécifiques, facilitant ainsi la création de bases de données d'exercices. À terme, nous imaginons un système capable de générer des exercices personnalisés en fonction des instruments pratiqués par les étudiants, des familles d'instruments, des préférences de répertoire, des types d'activités et des niveaux de compétences auditives.

Bien que certaines applications actuelles permettent déjà d'utiliser un microphone pour les réponses, nous envisageons que les outils de reconnaissance de hauteur sonore se généraliseront et seront intégrés à toutes les applications de formation auditive. Ces technologies évolueront probablement pour reconnaître non seulement les notes individuelles, mais aussi les accords, permettant ainsi aux utilisateurs de répondre à la plupart des exercices avec un instrument harmonique.

Dans une autre direction, nous pensons qu'il reste un grand potentiel à explorer en intégrant davantage le corps dans l'apprentissage auditif. Nous imaginons par exemple l'utilisation de l'écran pour dessiner des contours mélodiques ou l'exploitation des accéléromètres pour capturer les mouvements corporels dans des exercices spécifiques. La reconnaissance gestuelle via caméra pourrait aussi identifier différents gestes, ouvrant ainsi la voie à une pédagogie plus incarnée et immersive dans la formation auditive.

Dans le cadre de recherches futures, il serait pertinent d'évaluer la mise en place d'un outil numérique tel que celui proposé dans cette thèse au sein de plusieurs universités et programmes de musique et musicologie, y compris dans différents pays. Cela permettrait une analyse comparative des diverses approches pédagogiques adoptées à l'international. De plus, le test de cet outil pourrait enrichir le débat académique sur les standards de qualité applicables à ce type de technologie éducative.

Cette thèse adopte une démarche pluridisciplinaire, combinant la musicologie, la pédagogie et les sciences de l'éducation pour analyser à la fois le contexte d'utilisation et la conception des outils étudiés. Elle s'appuie aussi sur une recherche bibliographique pour formuler des propositions concrètes. Toutefois, une exploration plus approfondie du sujet devrait également intégrer la psychoacoustique, en examinant les caractéristiques acoustiques qui influencent la mémorisation. Par ailleurs, elle pourrait inclure des aspects liés au développement informatique afin de concrétiser les stratégies pédagogiques proposées, tout en étudiant les moyens pour les universités de mettre en place des solutions numériques adaptées à divers programmes d'études.

En dernier lieu, les questions liées à la formation auditive, à la meilleure manière de développer l'oreille musicale, ainsi qu'à l'évaluation des compétences auditives, méritent d'être approfondies. Un outil capable de poser des questions basées sur une grande variété d'exemples audio, tout en tenant compte du parcours d'apprentissage et des antécédents de chaque étudiant, pourrait contribuer à mieux comprendre la consolidation des connaissances et la cognition musicale. Un dispositif capable d'adapter les contenus d'apprentissage à l'expérience musicale unique de chaque étudiant l'aiderait à combler ses lacunes spécifiques. En proposant un soutien d'apprentissage personnalisé aux étudiants souhaitant

---

explorer des méthodes alternatives en complément de leurs pratiques musicales telles que le chant, l'interprétation, la composition ou encore l'improvisation, nous pourrions les accompagner efficacement dans leur progression, leur réussite académique et leur future carrière musicale.



# Bibliographie

- [1] Code de l'éducation - LEGIFRANCE. *Article R461-1*. consulté le 30 octobre 2023. URL : [https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article\\_lc/LEGIARTI000018379362](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000018379362).
- [2] W. G. McNaught A.R.A.M. « The History and Uses of the Sol-Fa Syllables ». In : *Proceedings of the Musical Association* 19.1 (jan. 1892). Number : 1 Publisher : Routledge\_eprint : <https://doi.org/10.1093/jrma/19.1.35>, p. 35-51. ISSN : 0958-8442. DOI : 10.1093/jrma/19.1.35. URL : <https://doi.org/10.1093/jrma/19.1.35> (visité le 09/04/2021).
- [3] Crazy Ootka Software AB. *Perfec Ear - Ear Trainer*. <https://www.perfectear.app/>. Accessed : 2024-04-20.
- [4] Felicia Patrick ABDUL JABBAR Azita Iliya. « Gameplay Engagement and Learning in Game-Based Learning : A Systematic Review ». en. In : *Review of Educational Research* 85.4 (déc. 2015). Publisher : American Educational Research Association, p. 740-779. ISSN : 0034-6543. DOI : 10.3102/0034654315577210. URL : <https://doi.org/10.3102/0034654315577210> (visité le 22/05/2023).
- [5] Frank ABRAHAMS. « The Application of Critical Pedagogy to Music Teaching and Learning : A Literature Review ». en. In : *Update : Applications of Research in Music Education* 23.2 (mars 2005). Number : 2 Publisher : SAGE Publications Inc, p. 12-22. ISSN : 8755-1233. DOI : 10.1177/87551233050230020103. URL : <https://doi.org/10.1177/87551233050230020103> (visité le 29/04/2021).
- [6] Frank ABRAHAMS. « The Application of Critical Pedagogy to Music Teaching and Learning : A Literature Review ». en. In : *Update : Applications of Research in Music Education* 23.2 (mars 2005). Number : 2, p. 12-22. ISSN : 8755-1233, 1945-0109. DOI : 10.1177/87551233050230020103. URL : <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/87551233050230020103> (visité le 28/06/2021).



- [7] Frank ABRAHAMS. « The Application of Critical Pedagogy to Music Teaching and Learning : A Literature Review ». en. In : *Update : Applications of Research in Music Education* 23.2 (mars 2005). Publisher : SAGE Publications Inc, p. 12-22. ISSN : 8755-1233. DOI : 10 . 1177 / 87551233050230020103. URL : <https://doi.org/10.1177/87551233050230020103> (visité le 17/03/2022).
- [8] Carlos R. ABRIL et Brent M. GAULT. *Teaching General Music : Approaches, Issues, and Viewpoints*. en. Google-Books-ID : TKogCwAAQBAJ. Oxford University Press, jan. 2016. ISBN : 978-0-19-932812-3.
- [9] « Addictive phone use and academic performance in adolescents ». en. In : (). DOI : 10.1002/hbe2.171. URL : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/hbe2.171> (visité le 29/10/2022).
- [10] Kémâl AFSIN. *Psychopédagogie de l'écoute musicale*. fr. ISSN : 0777-5245. De Boeck Supérieur, 2009. ISBN : 978-2-8041-0195-4. DOI : 10.3917/dbu.afsin.2009.01. URL : <https://www.cairn.info/psychopedagogie-de-l-ecoute-musicale--9782804101954.htm> (visité le 13/04/2021).
- [11] Marie AGNEW. « The auditory imagery of great composers ». In : *Psychological Monographs* 31.1 (1922). Place : US Publisher : Psychological Review Company, p. 279-287. ISSN : 0096-9753. DOI : 10.1037/h0093171.
- [12] Rosalba AGRESTA. « Les “Principes élémentaires de musique” et les “Sol-fèges pour servir à l'étude dans le Conservatoire de musique” ». In : (mai 2017).
- [13] Zahra AL MAHDI, Vikas RAO NAIDU et Preethy KURIAN. « Analyzing the role of human computer interaction principles for e-learning solution design ». In : *Smart Technologies and Innovation for a Sustainable Future : Proceedings of the 1st American University in the Emirates International Research Conference—Dubai, UAE 2017*. Springer. 2019, p. 41-44.
- [14] Ashraf ALAM. « Possibilities and Apprehensions in the Landscape of Artificial Intelligence in Education ». In : *2021 International Conference on Computational Intelligence and Computing Applications (ICCICA)*. Nov. 2021, p. 1-8. DOI : 10.1109/ICCICA52458.2021.9697272.
- [15] Md Afroz ALAM. « Connectivism learning theory and connectivist approach in teaching and learning : a review of literature ». In : *Bhartiyam International Journal Of Education & Research* 12.2 (2023).
- [16] Eva ALERBY et Cecilia FERM. « Learning Music : Embodied Experience in the Life-World ». In : *Philosophy of Music Education Review* 13.2 (2005). Publisher : Indiana University Press, p. 177-185. ISSN : 1063-5734. URL : <https://www.jstor.org/stable/40495511> (visité le 23/02/2022).

- [17] Ahlam ALGHAMDI et al. « Online and face-to-face classroom multitasking and academic performance : Moderated mediation with self-efficacy for self-regulated learning and gender ». In : *Computers in Human Behavior* 102 (2020). Place : Netherlands Publisher : Elsevier Science, p. 214-222. ISSN : 1873-7692. DOI : 10.1016/j.chb.2019.08.018.
- [18] Peter ALHEIT. « Biographical learning–within the lifelong learning discourse ». In : *Contemporary theories of learning : Learning theorists... in their own words* (2018), p. 153-165.
- [19] Sarah E ALLEN. « Memory stabilization and enhancement following music practice ». In : *Psychology of Music* 41.6 (2013), p. 794-803.
- [20] Raynold L. ALLVIN. « Computer-Assisted Music Instruction : A Look at the Potential ». In : *Journal of Research in Music Education* 19.2 (juill. 1971). Publisher : SAGE Publications Inc, p. 131-143. ISSN : 0022-4294. DOI : 10.2307/3343819. URL : <https://doi.org/10.2307/3343819> (visité le 10/12/2022).
- [21] Esperanza M ANAYA, David B PISONI et William G KRONENBERGER. « Visual-spatial sequence learning and memory in trained musicians ». en. In : *Psychology of Music* 45.1 (jan. 2017). Publisher : SAGE Publications Ltd, p. 5-21. ISSN : 0305-7356. DOI : 10.1177/0305735616638942. URL : <https://doi.org/10.1177/0305735616638942> (visité le 07/06/2022).
- [22] Monika ANDRIANOPOULOU. « Aural Education and its Pedagogical Conceptualisation in Higher Music Education ». en. In : (), p. 466.
- [23] Monika ANDRIANOPOULOU. *Aural Education : Reconceptualising Ear Training in Higher Music Learning*. en. Google-Books-ID : p\_S2DwAAQBAJ. Routledge, oct. 2019. ISBN : 978-1-00-069321-8.
- [24] Monika ANDRIANOPOULOU et al. *Aural Education : Reconceptualising Ear Training in Higher Music Learning*. English. 1st edition. New York : Routledge, oct. 2019. ISBN : 978-0-367-25772-9.
- [25] *Apple : most popular app store categories 2022*. en. URL : <https://www.statista.com/statistics/270291/popular-categories-in-the-app-store/> (visité le 03/02/2023).
- [26] ARCEP. *Le baromètre du numérique*. fr-FR. 2021. URL : <https://www.arcep.fr/cartes-et-donnees/nos-publications-chiffres-numerique/le-barometre-du-numerique.html> (visité le 17/01/2022).
- [27] Ch ARGYRIS et Donald A SCHÖN. « Organizational learning : A theory of action perspective ». In : *Reis* 77/78 (1997), p. 345-348.

- [28] Martins ARISTIDES et Marcos ANDRÉ. « Vers un dispositif numérique pour l'enseignement-apprentissage du solfège : convergence de la pédagogie et de la didactique de la musique avec la technologie numérique ». fre. Thèse de doct. University of Geneva, 2015. DOI : 10.13097/archive-ouverte/unige:74632. URL : <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:74632> (visité le 25/08/2022).
- [29] José Luis ARÓSTEGUI. « Exploring the global decline of music education ». In : *Arts Education Policy Review* 117.2 (2016). Publisher : Routledge \_eprint : <https://doi.org/10.1080/10632913.2015.1007406>, p. 96-103. ISSN : 1063-2913. DOI : 10.1080/10632913.2015.1007406. URL : <https://doi.org/10.1080/10632913.2015.1007406> (visité le 21/02/2022).
- [30] Claire ARTHUR et David HURON. « The direct octaves rule : Testing a scene-analysis interpretation ». en. In : *Musicæ Scientiæ* 20.4 (déc. 2016). Number : 4 Publisher : SAGE Publications Ltd, p. 495-511. ISSN : 1029-8649. DOI : 10.1177/1029864915623093. URL : <https://doi.org/10.1177/1029864915623093> (visité le 20/04/2021).
- [31] Anthony R ARTINO JR. « Bandura, Ross, and Ross : Observational Learning and the Bobo Doll. » In : *Online submission* (2007).
- [32] Somayeh ATAEI et al. « Learning during sleep in humans—A historical review ». In : *Sleep Medicine Reviews* (2023), p. 101852.
- [33] Richard C ATKINSON et Richard M SHIFFRIN. « Human memory : A proposed system and its control processes ». In : *Psychology of learning and motivation*. T. 2. Elsevier, 1968, p. 89-195.
- [34] Robert K ATKINSON. « Transitioning from studying examples to solving problems : Combining fadijig with prompting foster learning. » In : *J. Ed. Psychol* 95 (2003), p. 774-783.
- [35] Marcel AUBRY, Bernard MEYER et Michel NEVEU. OREILLE HUMAINE. fr-FR. URL : <http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/oreille-humaine/> (visité le 03/02/2022).
- [36] Ragnar Andreas AUDUNSON et Nafiz Zaman SHUVA. « Digital Library Education in Europe : A Survey ». en. In : *SAGE Open* 6.1 (jan. 2016). Publisher : SAGE Publications, p. 2158244015622538. ISSN : 2158-2440. DOI : 10.1177/2158244015622538. URL : <https://doi.org/10.1177/2158244015622538> (visité le 22/10/2022).
- [37] Brent AUERBACH. « Pedagogical Applications of the Video Game Dance Dance Revolution to Aural Skills Instruction ». In : *Music Theory Online* 16 (mars 2010). DOI : 10.30535/mto.16.1.1.

- [38] Hakan AYDIN. « A Study of Cloud Computing Adoption in Universities as a Guideline to Cloud Migration ». en. In : *SAGE Open* 11.3 (juill. 2021). Publisher : SAGE Publications, p. 21582440211030280. ISSN : 2158-2440. DOI : 10.1177/21582440211030280. URL : <https://doi.org/10.1177/21582440211030280> (visité le 22/10/2022).
- [39] Paul AYRES et John SWELLER. « The split-attention principle in multimedia learning ». In : *The Cambridge handbook of multimedia learning* 2 (2005), p. 135-146.
- [40] Paul AYRES et Tamara VAN GOG. *State of the art research into cognitive load theory*. 2009.
- [41] Abdul Jabbar AZITA ILIYA et Patrick FELICIA. *Gameplay Engagement and Learning in Game-Based Learning : A Systematic Review*. URL : <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3102/0034654315577210> (visité le 22/10/2022).
- [42] Alan D BADDELEY et Albert MEHRABIAN. *The psychology of memory*. Basic books New York, 1976.
- [43] Susan BAER. *The Value of Repetition*. en. Oct. 2021. URL : <https://suzukiassociation.org/news/value-repetition-3/> (visité le 13/10/2021).
- [44] Denis L. BAGGI et Goffredo M. HAUS. « The IEEE 1599 Standard ». In : *Music Navigation with Symbols and Layers : Toward Content Browsing with IEEE 1599 XML Encoding*. Conference Name : Music Navigation with Symbols and Layers : Toward Content Browsing with IEEE 1599 XML Encoding. IEEE, 2013, p. 1-20. ISBN : 978-1-118-49442-4. DOI : 10.1002/9781118494455.ch1. URL : <https://ieeexplore.ieee.org/document/6497303> (visité le 04/01/2022).
- [45] Ameer BAIRD et Séverine SAMSON. « Memory for Music in Alzheimer's Disease : Unforgettable? » en. In : *Neuropsychology Review* 19.1 (mars 2009), p. 85-101. ISSN : 1573-6660. DOI : 10.1007/s11065-009-9085-2. URL : <https://doi.org/10.1007/s11065-009-9085-2> (visité le 22/02/2022).
- [46] Barbara S. BAKER. « A Comparison of a Traditional Music Teaching Method with Music Ace ». en. ERIC Number : ED442729. Thèse de doct. Avr. 2000. URL : <https://eric.ed.gov/?id=ED442729> (visité le 31/01/2023).
- [47] Béatrice BAKHOUCHE. « Musique et philosophie : le De Institutione musica de Boèce dans la tradition encyclopédique latine ». fre. In : *Bulletin de l'Association Guillaume Budé* 1.3 (1997). Number : 3 Publisher : Persée - Portail des revues scientifiques en SHS, p. 210-232. DOI : 10.3406/

- bude . 1997 . 1890. URL : [https://www.persee.fr/doc/bude\\_0004-5527\\_1997\\_num\\_1\\_3\\_1890](https://www.persee.fr/doc/bude_0004-5527_1997_num_1_3_1890) (visité le 08/04/2021).
- [48] Jeanne BAMBERGER. « How the conventions of music notation shape musical perception and performance ». In : *Musical communication*. Oxford University Press, 2005.
- [49] Jeanne BAMBERGER. « Logo Music projects : Experiments in musical perception and design ». In : (1979).
- [50] Albert BANDURA. *Social foundations of thought and action : A social cognitive theory*. Prentice-Hall, Inc, 1986.
- [51] Albert BANDURA et Richard H WALTERS. *Social learning theory*. T. 1. Englewood cliffs Prentice Hall, 1977.
- [52] Albert BANDURA et Sebastian WESSELS. « Self-efficacy ». In : (1994).
- [53] Marc BANGERT et Gottfried SCHLAUG. « Specialization of the specialized in features of external human brain morphology ». In : *European Journal of Neuroscience* 24.6 (2006), p. 1832-1834.
- [54] Nicholas BANNAN. « Embodied Music Theory : New Pedagogy for Creative and Aural Development ». English. In : *Journal of Music Theory Pedagogy* 24 (2010), p. 197-216. ISSN : 0891-7639. URL : <https://research-repository.uwa.edu.au/en/publications/embodied-music-theory-new-pedagogy-for-creative-and-aural-develop> (visité le 24/05/2021).
- [55] Shaowen BAO, Vincent T CHAN et Michael M MERZENICH. « Cortical remodelling induced by activity of ventral tegmental dopamine neurons ». In : *Nature* 412.6842 (2001), p. 79-83.
- [56] Gonçalo BAPTISTA et Tiago OLIVEIRA. « Gamification and serious games : A literature meta-analysis and integrative model ». en. In : *Computers in Human Behavior* 92 (mars 2019), p. 306-315. ISSN : 0747-5632. DOI : 10.1016/j.chb.2018.11.030. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S074756321830565X> (visité le 02/02/2023).
- [57] Gonçalo BAPTISTA et Tiago OLIVEIRA. « Gamification and serious games : A literature meta-analysis and integrative model ». en. In : *Computers in Human Behavior* 92 (mars 2019), p. 306-315. ISSN : 0747-5632. DOI : 10.1016/j.chb.2018.11.030. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S074756321830565X> (visité le 02/02/2023).

- [58] Elena Y. BARAKINA et al. « Digital Technologies and Artificial Intelligence Technologies in Education ». en. In : *European Journal of Contemporary Education* 10.2 (2021). Publisher : Academic Publishing House Researcher ERIC Number : EJ1311498, p. 285-296. URL : <https://eric.ed.gov/?id=EJ1311498> (visité le 24/10/2022).
- [59] Adriano BARATÈ, Mattia G. BERGOMI et Luca A. LUDOVICO. « Development of Serious Games for Music Education ». en. In : *Journal of e-Learning and Knowledge Society* 9.2 (mai 2013). Number : 2. ISSN : 1826-6223. DOI : 10.20368/1971-8829/834. URL : [http://www.je-lks.com/ojs/index.php/Je-LKS\\_EN/article/view/834](http://www.je-lks.com/ojs/index.php/Je-LKS_EN/article/view/834) (visité le 04/01/2022).
- [60] Adriano BARATÈ, Luca A LUDOVICO et al. « Serious games for music education. A mobile application to learn clef placement on the staff. » In : *CSEDU 2013 : proceedings of the 5th International conference on computer supported education : Aachen, Germany, 6-8 may, 2013*. SciTe Press. 2013, p. 234-237.
- [61] Sarah BARLOW. « Improving aural skills within the curriculum : A literature review ». en. In : 1 (2016), p. 6.
- [62] Sarah J. BARTOLOME. « Naturally emerging self-regulated practice behaviors among highly successful beginning recorder students ». en. In : *Research Studies in Music Education* 31.1 (juin 2009). Number : 1 Publisher : SAGE Publications Ltd, p. 37-51. ISSN : 1321-103X. DOI : 10.1177/1321103X09103629. URL : <https://doi.org/10.1177/1321103X09103629> (visité le 03/01/2022).
- [63] William BAUER. *Music Learning and Technology*. en-US. 2014. URL : <http://www.newdirectionsmsu.org/issue-1/bauer-music-learning-and-technology/> (visité le 24/01/2022).
- [64] William BAUER. « The Acquisition of Musical Technological Pedagogical and Content Knowledge ». In : *Journal of Music Teacher Education* 22 (mars 2012), p. 51-64. DOI : 10.1177/1057083712457881.
- [65] Russell BEALE et Mike SHARPLES. « Design guide for developers of educational software ». In : *British Educational Communications and Technology Agency*. Retrieved on May 23 (2002), p. 2004.
- [66] Tom BECKERS et al. « Reasoning rats : forward blocking in Pavlovian animal conditioning is sensitive to constraints of causal inference. » In : *Journal of Experimental Psychology : General* 135.1 (2006), p. 92.
- [67] Benoit BEDIUO et al. « Meta-analysis of action video game impact on perceptual, attentional, and cognitive skills. » In : *Psychological bulletin* 144.1 (2018), p. 77.

- [68] Amy BEEGLE et Judith BOND. « Orff Schulwerk ». In : *Teaching general music : Approaches, issues, and viewpoints* (2016).
- [69] Daniel BENDOR et Xiaoqin WANG. « The neuronal representation of pitch in primate auditory cortex ». en. In : *Nature* 436.7054 (août 2005). Number : 7054 Publisher : Nature Publishing Group, p. 1161-1165. issn : 1476-4687. doi : 10.1038/nature03867. url : <https://www.nature.com/articles/nature03867> (visité le 03/02/2022).
- [70] Mónika BENEDEK. « Online or Offline? : Developing a pilot blended instruction for ear-training at Finnish university - Research.fi ». en. In : *Finnish Journal of Music Education* 22.1-2 (2019), p. 90-98. url : <https://research.fi/en/results/publication/0367080619> (visité le 01/02/2023).
- [71] Aaron S BENJAMIN et Hal PASHLER. « The value of standardized testing : A perspective from cognitive psychology ». In : *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences* 2.1 (2015), p. 13-23.
- [72] Sarah BENZ et al. « Music makes the world go round : The impact of musical training on non-musical cognitive functions—A review ». In : *Frontiers in Psychology* 6 (2016), p. 170573.
- [73] Andrea BERGER et al. « Computerized games to study the development of attention in childhood ». In : *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers* 32.2 (2000), p. 297-303.
- [74] Cecilia BERLIN et Caroline ADAMS. *Production ergonomics : Designing work systems to support optimal human performance*. Ubiquity press, 2017.
- [75] Paul F. BERLINER. *Thinking in Jazz : The Infinite Art of Improvisation*. en. Google-Books-ID : tqPnM\_e4CPYC. University of Chicago Press, oct. 2009. isbn : 978-0-226-04452-1.
- [76] E. BIGAND et B. POULIN-CHARRONNAT. « Are we "experienced listeners"? A review of the musical capacities that do not depend on formal musical training ». eng. In : *Cognition* 100.1 (mai 2006). Number : 1, p. 100-130. issn : 0010-0277. doi : 10.1016/j.cognition.2005.11.007.
- [77] Jacob BISHOP et Matthew A. VERLEGER. « The Flipped Classroom : A Survey of the Research ». In : issn : 2153-5965. Juin 2013, p. 23.1200.1-23.1200.18. url : <https://peer.asee.org/the-flipped-classroom-a-survey-of-the-research> (visité le 21/10/2022).

- [78] Michael BIRZ. « Teaching Improvisation outside of Jazz Settings : Musical genres that lend themselves to improvisations by beginning student musicians include bluegrass, blues, ska, reggae, rap, klezmer, and rock ». In : *Music Educators Journal* 84.4 (jan. 1998). Publisher : SAGE Publications Inc, p. 21-41. ISSN : 0027-4321. DOI : 10.2307/3399111. URL : <https://doi.org/10.2307/3399111> (visité le 21/02/2022).
- [79] Bonnie J. BLACKBURN. *Gaffurius [Gafurius], Franchinus*. en. T. 1. Oxford University Press, 2001. DOI : 10.1093/gmo/9781561592630.article.10477. URL : <http://www.oxfordmusiconline.com/grovemusic/view/10.1093/gmo/9781561592630.001.0001/omo-9781561592630-e-0000010477> (visité le 09/04/2021).
- [80] Jennifer BLACKWELL, Nicholas MATHERNE et Gary E McPHERSON. « A PRISMA review of research on feedback in music education and music psychology ». en. In : *Psychology of Music* (août 2022). Publisher : SAGE Publications Ltd, p. 03057356221109328. ISSN : 0305-7356. DOI : 10.1177/03057356221109328. URL : <https://doi.org/10.1177/03057356221109328> (visité le 12/12/2022).
- [81] Ran BLAKE. *Primacy Of The Ear*. Anglais. Third Stream Associates : Lulu.com, 2011. ISBN : 978-0-557-60912-3.
- [82] MacJannet Charlotte BLENSDORF. « Education by and for Music : The Work of Emile Jaques-Dalcroze ». In : *Australian Journal of Music Education* 10 (sept. 2021). Number : 10 Publisher : Australian Society for Music Education, p. 39-42. DOI : 10.3316/informit.861302816967665. URL : <https://search.informit.org/doi/abs/10.3316/informit.861302816967665> (visité le 04/09/2021).
- [83] Hilde Synnøve BLIX. « Learning strategies in ear training ». en. In : (), p. 19.
- [84] Artusi Inc and Ann K. BLOMBACH. *MacGAMUT and Artusi Music Products*. en :us. Avr. 2021. URL : <https://www.macgamut.com/products/macgamut/reviews/> (visité le 22/04/2021).
- [85] Guillaume-Louis BOCQUILLON-WILHEM. *Manuel musical : à l'usage des collèges, des institutions, des écoles et des cours de chant...* T. 1. Perrotin, 1840.
- [86] Anne BOISSIÈRE. « Jouer autrement : les exercices d'Émile Jaques-Dalcroze ». fr. In : *Methodos. Savoirs et textes* 21 (jan. 2021). Number : 21 Publisher : Savoirs textes langage (UMR 8163). ISSN : 1769-7379. DOI : 10.4000/methodos.7677. URL : <http://journals.openedition.org/methodos/7677> (visité le 13/04/2021).



- [87] Anne BOISSIÈRE. « Jouer autrement : les exercices d'Émile Jaques-Dalcroze ». fr. In : *Methodos. Savoirs et textes* 21 (jan. 2021). Number : 21 Publisher : Savoirs textes langage (UMR 8163). ISSN : 1769-7379. DOI : 10.4000/methodos.7677. URL : <https://journals.openedition.org/methodos/7677> (visité le 03/09/2021).
- [88] Jonathan BOLDUC. « Les influences de l'approche d'éducation musicale Orff-Schulwerk sur les connaissances musicales et les compétences pédagogiques d'étudiants inscrits à un programme de formation initiale à l'enseignement ». fr. In : (2011), p. 16.
- [89] Stéphane BONNÉRY. « L'enseignement de la musique, entre institution scolaire et conservatoires. Éclairages mutuels des sociologies de l'éducation et de la culture ». fr. In : *Revue française de pédagogie. Recherches en éducation* 185 (déc. 2013). ISBN : 9782847885231 Number : 185 Publisher : ENS Éditions, p. 5-19. ISSN : 0556-7807. URL : <http://journals.openedition.org/rfp/4290> (visité le 28/06/2021).
- [90] Jan BORN et Ines WILHELM. « System consolidation of memory during sleep ». In : *Psychological research* 76 (2012), p. 192-203.
- [91] Adrien BOURG et al. « Recherche en sciences de l'éducation musicale et pratiques de terrains : une lecture à partir du Journal de recherche en éducation musicale ». In : *Recherches en musique Actes des Rencontres nationales sur les recherches en musique* (2023), p. 207-213.
- [92] Wayne BOWMAN et Kimberly POWELL. « The body in a state of music ». In : *International handbook of research in arts education*. Springer, 2007, p. 1087-1108.
- [93] James BOWYER. « More than Solfège and Hand Signs : Philosophy, Tools, and Lesson Planning in the Authentic Kodaly Classroom ». en. In : *Music Educators Journal* 102.2 (déc. 2015). Number : 2 Publisher : SAGE Publications Inc, p. 69-76. ISSN : 0027-4321. DOI : 10.1177/0027432115611232. URL : <https://doi.org/10.1177/0027432115611232> (visité le 12/09/2021).
- [94] Michiel BRAAT et al. « The rise and fall of behaviorism : The narrative and the numbers. » In : *History of Psychology* 23.3 (2020), p. 252.
- [95] Susanne BRANDLER et Thomas H. RAMMSAYER. « Differences in Mental Abilities between Musicians and Non-Musicians ». en. In : *Psychology of Music* 31.2 (avr. 2003). Publisher : SAGE Publications Ltd, p. 123-138. ISSN : 0305-7356. DOI : 10.1177/0305735603031002290. URL : <https://doi.org/10.1177/0305735603031002290> (visité le 29/03/2022).

- [96] Albert S. BREGMAN. *Auditory Scene Analysis : The Perceptual Organization of Sound*. en. Google-Books-ID : jI8muSpAC5AC. MIT Press, sept. 1994. ISBN : 978-0-262-52195-6.
- [97] Albert S. BREGMAN. « Progress in Understanding Auditory Scene Analysis ». en. In : *Music Perception* 33.1 (sept. 2015). Publisher : University of California Press, p. 12-19. ISSN : 0730-7829. DOI : 10.1525/mp.2015.33.1.12. URL : <https://online.ucpress.edu/mp/article/33/1/12/62665/Progress-in-Understanding-Auditory-Scene-Analysis> (visité le 27/03/2022).
- [98] Doreen BRIDGES. « Fixed and movable doh in historical perspective ». EN. In : *Bulletin (Kodaly Education Institute of Australia)* (jan. 1982). URL : <https://search.informit.org/doi/abs/10.3316/informit.434588179661719> (visité le 09/04/2021).
- [99] Warren BRODSKY et al. « The mental representation of music notation : notational audiation. » In : *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance* 34.2 (2008), p. 427.
- [100] Ethan S BROMBERG-MARTIN et Okihide HIKOSAKA. « Midbrain dopamine neurons signal preference for advance information about upcoming rewards ». In : *Neuron* 63.1 (2009), p. 119-126.
- [101] John BROOKE et al. « SUS-A quick and dirty usability scale ». In : *Usability evaluation in industry* 189.194 (1996), p. 4-7.
- [102] Candace BROWER. « A cognitive theory of musical meaning ». In : *Journal of music theory* 44.2 (2000), p. 323-379.
- [103] Jenine BROWN. « Improving intonation using the Singscope iOS app ». In : *College Music Symposium* 60.2 (2020). Publisher : College Music Society, p. 1-4. ISSN : 0069-5696. URL : <https://www.jstor.org/stable/26989795> (visité le 10/01/2023).
- [104] Thomas Walker BROWN. *An investigation of the effectiveness of a piano course in playing by ear and aural skills development for college students - ProQuest*. en. Juin 1999. URL : <https://www.proquest.com/openview/794dcc159a1ac3578c00a9436693c54e/1?pq-origsite=gscholar&cb1=18750&diss=y> (visité le 18/05/2021).
- [105] Jerome BRUNER. *Toward a theory of instruction*. Harvard university press, 1974.
- [106] Elizabeth BUCURA. « Becoming self-directed and self-determined : Learning music pedagogically, andragogically, and heutagogically ». In : *Problems in Music Pedagogy* 19.1 (2020), p. 7-24.

- [107] Theodore Edward BUEHRER. « An alternative pedagogical paradigm for aural skills : An examination of constructivist learning theory and its potential for implementation into aural skills curricula ». en. Thèse de doct. Indiana, USA : Indiana University, 2000. URL : <https://www.proquest.com/openview/5fb9739c28549ac07706a4afef9e57fa/1?cbl=18750&diss=y&pq-origsite=gscholar> (visité le 21/05/2021).
- [108] Édgar Raúl BUENAÑO LOGROÑO. « Análisis de herramientas de software libre orientadas al aprendizaje del lenguaje musical para mejorar el rendimiento académico en los estudiantes del primer año de bachillerato de la Unidad Educativa Juan de Velasco ». spa. Accepted : 2016-04-27T15:57:41Z Publisher : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Thèse de doct. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, avr. 2016. URL : <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4635> (visité le 31/01/2023).
- [109] George W. BULLEN. « The Galin-Paris-Cheve Method of Teaching Considered as a Basis of Musical Education ». en. In : *Proceedings of the Musical Association* 4 (1877). Publisher : Cambridge University Press, p. 68-93. ISSN : 0958-8442, 2632-7716. DOI : 10.1093/jrma/4.1.68. URL : <https://www.cambridge.org/core/journals/proceedings-of-the-musical-association/article/abs/galinparischeve-method-of-teaching-considered-as-a-basis-of-musical-education/6F50C1FF59D720102C602676EF0CEE16#> (visité le 09/04/2021).
- [110] Nathan O BUONVIRI et Andrew S PANNEY. « Technology use in high school aural skills instruction ». en. In : *International Journal of Music Education* 38.3 (août 2020). Publisher : SAGE Publications Ltd, p. 431-440. ISSN : 0255-7614. DOI : 10.1177/0255761420909917. URL : <https://doi.org/10.1177/0255761420909917> (visité le 26/04/2023).
- [111] David Lucas BURGE. *The Perfect Pitch Ear Training SuperCourse*. Perfect-Pitch, 1999.
- [112] David BUTLER et Mark LOCHSTAMPFOR. « Bridges Unbuilt : Comparing the Literatures of Music Cognition and Aural Training ». In : *Indiana Theory Review* 14.2 (1993). Number : 2 Publisher : [Department of Music Theory, Jacobs School of Music, Indiana University, Indiana University Press, Trustees of Indiana University], p. 1-17. ISSN : 0271-8022. URL : <https://www.jstor.org/stable/24045326> (visité le 29/04/2021).
- [113] Anastasia BUYALSKAYA et Colin F CAMERER. « The neuroeconomics of epistemic curiosity ». In : *Current Opinion in Behavioral Sciences* 35 (2020), p. 141-149.

- [114] Mark Anthony CAMILLERI et Adriana Caterina CAMILLERI. « The Acceptance of Learning Management Systems and Video Conferencing Technologies : Lessons Learned from COVID-19 ». en. In : *Technology, Knowledge and Learning* (août 2021). ISSN : 2211-1670. DOI : 10.1007/s10758-021-09561-y. URL : <https://doi.org/10.1007/s10758-021-09561-y> (visité le 21/10/2022).
- [115] Bruce B CAMPBELL. « Music theory software for the Macintosh ». In : *Journal of Music Theory Pedagogy* 2.1 (1988), p. 6.
- [116] Milton CAMPOVERDE-MOLINA, Sergio LUJÁN-MORA et Llorenç VALVERDE. « Systematic literature review on software architecture of educational websites ». In : *IET Software* 15.4 (2021), p. 239-259.
- [117] Raúl W. CAPISTRÁN GRACIA. « Retos, recursos y nivel de compromiso en la clase de Solfeo. Una aproximación a su estudio ». es. In : *Revista de Investigación y Pedagogía del Arte* 11 (jan. 2022). Number : 11. ISSN : 2602-8158. URL : <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/revpos/article/view/4037> (visité le 10/01/2023).
- [118] Stuart K CARD. *The psychology of human-computer interaction*. Crc Press, 2018.
- [119] James Caldwell CARLSEN. *An investigation of programmed learning in melodic dictation*. Evanston, Ill., 1962 [Ann Arbor, University Microfilms, 1963.
- [120] Carla Davis CASH. « Effects of early and late rest intervals on performance and overnight consolidation of a keyboard sequence ». In : *Journal of research in music education* 57.3 (2009), p. 252-266.
- [121] Sheila R. Clagg CATHEY. « Profiles, perceptions, and practices related to customizable computer-aided instructions (MacGAMUT) among post-secondary aural-training instructors ». en\_US. In : (2014). Accepted : 2015-04-24T19:47:09Z Publisher : Boston University. URL : <https://open.bu.edu/handle/2144/10957> (visité le 22/04/2021).
- [122] Mary Ellen CAVITT. « A descriptive analysis of error correction in instrumental music rehearsals ». In : *Journal of Research in Music Education* 51.3 (2003), p. 218-230.
- [123] Claire CHABERT. « [Class, Semester] [Teacher Name] [Insérer une date] ». fr. In : (), p. 62.
- [124] Christelle CHAILLOU. « La poésie lyrique des troubadours. Musique, poésie, contexte ». In : *Annales de Vendée* n°4 (2009), p. 139-157. URL : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00363416> (visité le 17/02/2022).

- [125] Agnes S. CHAN, Yim-Chi Ho et Mei-Chun CHEUNG. « Music training improves verbal memory ». en. In : *Nature* 396.6707 (nov. 1998). Number : 6707 Publisher : Nature Publishing Group, p. 128-128. ISSN : 1476-4687. DOI : 10.1038/24075. URL : <https://www.nature.com/articles/24075> (visité le 22/02/2022).
- [126] Raymond C. K. CHAN et al. « Assessment of executive functions : Review of instruments and identification of critical issues ». en. In : *Archives of Clinical Neuropsychology* 23.2 (mars 2008), p. 201-216. ISSN : 0887-6177. DOI : 10.1016/j.acn.2007.08.010. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0887617707001928> (visité le 29/03/2022).
- [127] Rosa Aurora CHAVEZ. « Imagery As a Core Process in the Creativity of Successful and Awarded Artists and Scientists and Its Neurobiological Correlates ». In : *Frontiers in Psychology* 7 (2016). ISSN : 1664-1078. URL : <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2016.00351> (visité le 15/03/2022).
- [128] Bo CHEN et al. « A human-centered approach for designing World-Wide Web browsers ». In : *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers* 29.2 (1997), p. 172-179.
- [129] Chi Wai Jason CHEN. « Mobile learning : Using application Auralbook to learn aural skills ». en. In : *International Journal of Music Education* 33.2 (mai 2015). Number : 2 Publisher : SAGE Publications Ltd, p. 244-259. ISSN : 0255-7614. DOI : 10.1177/0255761414533308. URL : <https://doi.org/10.1177/0255761414533308> (visité le 10/04/2021).
- [130] Chi Wai Jason CHEN. « Mobile learning : Using application Auralbook to learn aural skills ». en. In : *International Journal of Music Education* 33.2 (mai 2015). Publisher : SAGE Publications Ltd, p. 244-259. ISSN : 0255-7614. DOI : 10.1177/0255761414533308. URL : <https://doi.org/10.1177/0255761414533308> (visité le 26/04/2023).
- [131] Jason CHEN. *Mobile Learning in Music Education*. en. ISBN : 9780199372133. Sept. 2017. DOI : 10.1093/oxfordhb/9780199372133.013.16. URL : <https://www.oxfordhandbooks.com/view/10.1093/oxfordhb/9780199372133.001.0001/oxfordhb-9780199372133-e-16> (visité le 03/01/2022).
- [132] Lijia CHEN, Pingping CHEN et Zhijian LIN. « Artificial Intelligence in Education : A Review ». In : *IEEE Access* 8 (2020). Conference Name : IEEE Access, p. 75264-75278. ISSN : 2169-3536. DOI : 10.1109/ACCESS.2020.2988510.

- [133] Quan CHEN et Zheng YAN. « Does multitasking with mobile phones affect learning? A review ». en. In : *Computers in Human Behavior* 54 (jan. 2016), p. 34-42. ISSN : 0747-5632. DOI : 10.1016/j.chb.2015.07.047. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0747563215300595> (visité le 29/10/2022).
- [134] Meng-Tzu CHENG et al. « The use of serious games in science education : a review of selected empirical research from 2002 to 2013 ». en. In : *Journal of Computers in Education* 2.3 (sept. 2015). Number : 3, p. 353-375. ISSN : 2197-9995. DOI : 10.1007/s40692-015-0039-9. URL : <https://doi.org/10.1007/s40692-015-0039-9> (visité le 04/01/2022).
- [135] Eleanor K CHESTNUT, Marianna Y ZHANG et Ellen M MARKMAN. « “Just as good” : Learning gender stereotypes from attempts to counteract them. » In : *Developmental psychology* 57.1 (2021), p. 114.
- [136] Vincent KM CHEUNG et al. « Uncertainty and surprise jointly predict musical pleasure and amygdala, hippocampus, and auditory cortex activity ». In : *Current Biology* 29.23 (2019), p. 4084-4092.
- [137] Jean-Marie CHEVALIER. « Peut-il exister une logique de la notation musicale? » fr. In : *Recherches sémiotiques / Semiotic Inquiry* 36.3 (2016). Number : 3 Publisher : Association canadienne de sémiotique / Canadian Semiotic Association, p. 53-74. ISSN : 0229-8651, 1923-9920. DOI : 10.7202/1051396ar. URL : <https://www.erudit.org/en/journals/rssi/1900-v1-n1-rssi03971/1051396ar/abstract/> (visité le 09/04/2021).
- [138] Alain de CHEVEIGNÉ. « Structure du système auditif ». fr. In : (), p. 86.
- [139] *Chime : Newsletter of the European Foundation for Chinese Music Research*. en. Google-Books-ID : 5psJAQAAMAAJ. European Foundation for Chinese Music Research, 1996.
- [140] Vincent CHO, T. C. Edwin CHENG et W. M. Jennifer LAI. « The role of perceived user-interface design in continued usage intention of self-paced e-learning tools ». en. In : *Computers & Education* 53.2 (sept. 2009). Number : 2, p. 216-227. ISSN : 0360-1315. DOI : 10.1016/j.compedu.2009.01.014. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131509000207> (visité le 16/02/2021).
- [141] Lois CHOKSY. *The Kodály method : comprehensive music education from infant to adult*. English. OCLC : 925105603. Englewood Cliffs, N.J. : Prentice-Hall, 1974. ISBN : 978-0-13-516757-1.
- [142] Eddy CHONG. « Teaching and learning music theory in the age of AI and mobile technologies ». In : (sept. 2019). DOI : 10.20533/ijds.2040.2570.2019.0186.

- [143] Yu-kai CHOU. *Octalysis : Complete Gamification Framework* - Yu-kai Chou. en-US. Déc. 2020. URL : <https://yukaichou.com/gamification-examples/octalysis-complete-gamification-framework/> (visité le 04/01/2022).
- [144] CHOUARD CLAUDE-HENRI. *L'oreille musicienne : les chemins de la musique, de l'oreille au cerveau* / Claude-Henri Chouard. fre. Paris : Gallimard, 2001. ISBN : 978-2-07-076212-5.
- [145] Thomas Street CHRISTENSEN, éd. *The Cambridge history of Western music theory*. en. The Cambridge history of music. Cambridge; New York : Cambridge University Press, 2002. ISBN : 978-0-521-62371-1.
- [146] Chi-Nung CHU et Yu Ting HUANG. « The Design of Spoken Music Web Browser for Teaching Learning-Disabled Children : A Chev  System Approach to Music Notation ». en. In : *Computers Helping People with Special Needs*. Sous la dir. de Klaus MIESENBERGER et al. Lecture Notes in Computer Science. Berlin, Heidelberg : Springer, 2004, p. 218-223. ISBN : 978-3-540-27817-7. DOI : 10.1007/978-3-540-27817-7\_33.
- [147] Daniel K. L CHUA. « Rioting with Stravinsky : a Particular Analysis of the Rite of Spring ». en. In : *Music Analysis* 26.1-2 (2007). Number : 1-2\_eprint : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1468-2249.2007.00250.x>, p. 59-109. ISSN : 1468-2249. DOI : 10.1111/j.1468-2249.2007.00250.x. URL : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1468-2249.2007.00250.x> (visité le 15/11/2021).
- [148] Szu-Ming CHUNG et Chun-Tsai Wu. « Designing music games and mobile apps for early music learning ». In : *Serious Games and Edutainment Applications : Volume II* (2017), p. 57-75.
- [149] Radoslaw M. CICHY, Jakob HEINZLE et John-Dylan HAYNES. « Imagery and Perception Share Cortical Representations of Content and Location ». In : *Cerebral Cortex* 22.2 (fév. 2012), p. 372-380. ISSN : 1047-3211. DOI : 10.1093/cercor/bhr106. URL : <https://doi.org/10.1093/cercor/bhr106> (visité le 16/03/2022).
- [150] Monica CIOLACU et al. « Education 4.0 - Artificial Intelligence Assisted Higher Education : Early recognition System with Machine Learning to support Students' Success ». In : *2018 IEEE 24th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging200b (SIITME)*. Oct. 2018, p. 23-30. DOI : 10.1109/SIITME.2018.8599203.

- [151] Ruth Colvin CLARK. « Multimedia Learning in e-Courses ». In : *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Sous la dir. de Richard MAYER. 2<sup>e</sup> éd. Cambridge : Cambridge University Press, 2014, p. 842-882. ISBN : 978-1-139-54736-9. DOI : 10.1017/CB09781139547369.040. URL : [https://www.cambridge.org/core/product/identifier/9781139547369%23c03520-34-1/type/book\\_part](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/9781139547369%23c03520-34-1/type/book_part) (visité le 13/02/2021).
- [152] CNSMDP. *Cycle supérieur de formation musicale*. consulté le 30 octobre 2023. URL : <https://www.conservatoiredeparis.fr/>.
- [153] Don D COFFMAN. « Effects of mental practice, physical practice, and knowledge of results on piano performance ». In : *Journal of Research in Music Education* 38.3 (1990), p. 187-196.
- [154] Don D. COFFMAN et Duane SMALLWOOD. « Some Software Cures for the Rhythm Blues ». en. In : *Music Educators Journal* 73.4 (déc. 1986). Publisher : SAGE Publications Inc, p. 40-43. ISSN : 0027-4321. DOI : 10.2307/3397904. URL : <https://doi.org/10.2307/3397904> (visité le 10/12/2022).
- [155] Neal J. COHEN et Larry R. SQUIRE. « Preserved Learning and Retention of Pattern-Analyzing Skill in Amnesia : Dissociation of Knowing How and Knowing That ». In : *Science* 210.4466 (oct. 1980). Publisher : American Association for the Advancement of Science, p. 207-210. DOI : 10.1126/science.7414331. URL : <https://www.science.org/doi/10.1126/science.7414331> (visité le 22/02/2022).
- [156] Michael COLE et al. « Mind in society ». In : *Mind in society the development of higher psychological processes*. Cambridge, MA : Harvard University Press (1978).
- [157] Marie-Noël COLETTE. « Guy D'Arezzo et « Notre Notation Musicale Moderne » ». fr. In : *Revue de Synthèse* 129.3 (sept. 2008). Number : 3, p. 363-387. ISSN : 1955-2343. DOI : 10.1007/s11873-008-0045-4. URL : <https://doi.org/10.1007/s11873-008-0045-4> (visité le 08/04/2021).
- [158] Richard COLWELL et al., éd. *The New Handbook of Research on Music Teaching and Learning : A Project of the Music Educators National Conference*. Oxford, New York : Oxford University Press, mai 2002. ISBN : 978-0-19-513884-9.
- [159] *Computer-assisted instruction in ear-training and its integration into undergraduate music programs during the 1998-1999 academic year - ProQuest*. fr. URL : <https://www.proquest.com/openview/e0d6d1463c26b52f818b1c3038973cf1/1?cb1=18750&diss=y&pq-origsite=gscholar&parentSessionId=>



- VrGVGJ3Tzs1rMb%2BQSkhISj4iD7%2FctPV%2FBQY0yd7rr8Q%3D (visité le 09/01/2023).
- [160] Christine CONDARIS. « Correlating Methods of Teaching Aural Skills with Individual Learning Styles ». en. In : *ATHENS JOURNAL OF HUMANITIES & ARTS* 6.1 (jan. 2019). Number : 1, p. 1-14. ISSN : 22417702. DOI : 10.30958/ajha.6-1-1. URL : <https://www.athensjournals.gr/humanities/2019-6-1-1-Condaris.pdf> (visité le 01/02/2021).
- [161] Nicolas de CONDORCET. « Discours prononcé à l'Assemblée Nationale au nom de l'Académie des Sciences à la séance du 12061790 ». In : *Œuvres de Condorcet*. Sous la dir. d'Arthur O'CONNOR et François ARAGO. T. 1. Paris : Firmin Didot Frères, 1847, p. 508-511. URL : <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k58105584>.
- [162] Colleen CONWAY. *Collecting, Analyzing and Reporting Data : An Oxford Handbook of Qualitative Research in American Music Education, Volume 2*. en. Google-Books-ID : b9bODwAAQBAJ. Oxford University Press, 2020. ISBN : 978-0-19-092093-7.
- [163] Katherine N. COTTER, Alexander P. CHRISTENSEN et Paul J. SILVIA. « Understanding inner music : A dimensional approach to musical imagery. » en. In : *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts* 13.4 (nov. 2019), p. 489-503. ISSN : 1931-390X, 1931-3896. DOI : 10.1037/aca0000195. URL : <http://doi.apa.org/getdoi.cfm?doi=10.1037/aca0000195> (visité le 07/06/2022).
- [164] Pierre COUPRIE. « Developing Software for Digital Musicology : Inside an Experimental Laboratory ». In : *International Computer Music Conference*. 2023, p. 72-78.
- [165] Kate COVINGTON. « Improvisation in the Aural Curriculum : An Imperative ». In : *College Music Symposium* 37 (1997). Publisher : College Music Society, p. 49-64. ISSN : 0069-5696. URL : <https://www.jstor.org/stable/40374303> (visité le 30/04/2021).
- [166] Kate COVINGTON et Charles H. LORD. « Epistemology and Procedure in Aural Training : In Search of a Unification of Music Cognitive Theory with Its Applications ». In : *Music Theory Spectrum* 16.2 (oct. 1994). Number : 2, p. 159-170. ISSN : 0195-6167. DOI : 10.2307/746031. URL : <https://doi.org/10.2307/746031> (visité le 21/05/2021).
- [167] Nelson COWAN. « Chapter 20 What are the differences between long-term, short-term, and working memory? » en. In : *Progress in Brain Research*. Sous la dir. de Wayne S. SOSSIN et al. T. 169. Essence of Memory. Elsevier, jan. 2008, p. 323-338. DOI : 10.1016/S0079-6123(07)00020-9.

- URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079612307000209> (visité le 22/02/2022).
- [168] Fergus IM CRAIK et Robert S LOCKHART. « Levels of processing : A framework for memory research ». In : *Journal of verbal learning and verbal behavior* 11.6 (1972), p. 671-684.
- [169] Fergus IM CRAIK et Endel TULVING. « Depth of processing and the retention of words in episodic memory. » In : *Journal of experimental Psychology : general* 104.3 (1975), p. 268.
- [170] David CRANE. <https://tonedear.com/>. 2014.
- [171] Renée CRAWFORD. « Rethinking teaching and learning pedagogy for education in the twenty-first century : blended learning in music education ». In : *Music Education Research* 19.2 (2017), p. 195-213.
- [172] Andrea CREECH. « Using Music Technology Creatively to Enrich Later-Life : A Literature Review ». In : *Frontiers in Psychology* 10 (2019). ISSN : 1664-1078. URL : <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2019.00117> (visité le 23/01/2023).
- [173] Gustave CRÉPEAU. « L'enseignement programmé ». fre. In : *Prospectives* 8.3 (1972). Accepted : 2015-11-16T14:42:11Z Artwork Medium : Ressource électronique Interview Medium : Ressource électronique Publisher : Centre d'animation, de développement et de recherche en éducation, p. 163-170. URL : <https://eduk.info/xmlui/handle/11515/33465> (visité le 24/01/2022).
- [174] Irma Elizabeth CRUZ LARA. « Propuesta de implementación de instrucción asistida por computadora para el desarrollo de las habilidades de entrenamiento auditivo en los alumnos de la Lic. en Música de la UAEH ». Mém. de mast. (Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 2012).
- [175] Gergely CSIBRA et György GERGELY. « Social learning and social cognition : The case for pedagogy ». In : *Processes of change in brain and cognitive development. Attention and performance XXI* 21 (2006), p. 249-274.
- [176] Guillermo Alfonso CUBILLOS MARTÍNEZ. « Estrategias metacognitivas en ambientes virtuales de aprendizaje para el fortalecimiento de habilidades auditivas musicales. » In : (2019).
- [177] Ministère de la CULTURE. *Conservatoire de musique et de déclamation (Paris; 1806-1946)*. 1806. URL : [https://francearchives.gouv.fr/fr/authorityrecord/Fran\\_NP\\_051493](https://francearchives.gouv.fr/fr/authorityrecord/Fran_NP_051493) (visité le 25/01/2024).

- [178] Ministère de la CULTURE. *La réforme de l'enseignement musical – rapport au Ministre de la Culture*. [https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article\\_lc/LEGIARTI000018379362](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000018379362). 1979.
- [179] Ministère de la CULTURE. *ETUDES DE FORMATION MUSICALE : REFORME DES CLASSES DE "SOLFEGE"*, 1977. Direction de la Musique et de la Danse, 1977.
- [180] Simone DALLA BELLA et Isabelle PERETZ. « Differentiation of classical music requires little learning but rhythm ». en. In : *Cognition* 96.2 (2005), B65-B78. ISSN : 0010-0277. DOI : 10.1016/j.cognition.2004.12.005. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010027705000193> (visité le 22/02/2022).
- [181] Kurt DANZIGER. *Marking the mind : A history of memory*. Marking the mind : A history of memory. Pages : vii, 305. New York, NY, US : Cambridge University Press, 2009.
- [182] Jane DAVIDSON. « Developing the ability to perform ». In : *Musical Performance : A Guide to Study and Practice*. Cambridge University Press, 2002, p. 89-101.
- [183] John J. DEAL. « Computer-Assisted Instruction in Pitch and Rhythm Error Detection ». en. In : *Journal of Research in Music Education* 33.3 (oct. 1985). Publisher : SAGE Publications Inc, p. 159-166. ISSN : 0022-4294. DOI : 10.2307/3344803. URL : <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.2307/3344803> (visité le 30/01/2022).
- [184] Stanislas DEHAENE. *Apprendre ! : les talents du cerveau, le défi des machines*. Odile Jacob, 2018.
- [185] Stanislas DEHAENE. « Les quatre piliers de l'apprentissage, ou ce que nous disent les neurosciences ». In : *Paris Tech Review* (2013).
- [186] Stanislas DEHAENE et Jean-Pierre CHANGEUX. « Experimental and theoretical approaches to conscious processing ». In : *Neuron* 70.2 (2011), p. 200-227.
- [187] Stanislas DEHAENE, Michel KERSZBERG et Jean-Pierre CHANGEUX. « A neuronal model of a global workspace in effortful cognitive tasks ». In : *Proceedings of the national Academy of Sciences* 95.24 (1998), p. 14529-14534.
- [188] Stanislas DEHAENE et al. « Letter binding and invariant recognition of masked words : behavioral and neuroimaging evidence ». In : *Psychological science* 15.5 (2004), p. 307-313.

- [189] Michele DELLA VENTURA. « Intelligent (Musical) Tutoring System : The Strategic Sense for Deep Learning? » In : *International Conference on Innovative Technologies and Learning*. Springer. 2023, p. 3-12.
- [190] Lisa C DeLORENZO. « A field study of sixth-grade students' creative music problem-solving processes ». In : *Journal of Research in Music Education* 37.3 (1989), p. 188-200.
- [191] Laurent DEMANY et al. « Auditory Change Detection : Simple Sounds Are Not Memorized Better Than Complex Sounds ». en. In : *Psychological Science* 19.1 (jan. 2008). Publisher : SAGE Publications Inc, p. 85-91. ISSN : 0956-7976. DOI : 10 . 1111 / j . 1467 - 9280 . 2008 . 02050 . x. URL : <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2008.02050.x> (visité le 15/02/2022).
- [192] Ana-Maria DEMIAN et Nelida NEDELCUȚ. « The Musicators Ear Training Programme : a Case Study. » In : *ICT in Muzical Field/Tehnologii Informaticice si de Comunicatie in Domeniul Muzical* 12.2 (2021).
- [193] Ana-Maria DEMIAN et Nelida NEDELCUȚ. « The Musicators Ear Training Programme : a Case Study. » In : *ICT in Muzical Field/Tehnologii Informaticice si de Comunicatie in Domeniul Muzical* 12.2 (2021).
- [194] Erkan DEMIRTAŞ. « The Effect of the Covid-19 Process on the Attitudes of Music Students towards E-learning ». In : sept. 2021, p. 247-258. ISBN : 978-2-38236-182-5.
- [195] Guillaume DENIS et Pierre JOUVELOT. « Motivation-driven educational game design : applying best practices to music education ». In : *Proceedings of the 2005 ACM SIGCHI International Conference on Advances in computer entertainment technology*. 2005, p. 462-465.
- [196] Michel DENIS. « Visual imagery and the use of mental practice in the development of motor skills ». In : *Canadian journal of applied sport sciences. Journal canadien des sciences appliquées au sport* 10 (jan. 1986), 4S-16S.
- [197] Michel DESMURGET. *La fabrique du crétin digital : Les dangers des écrans pour nos enfants*. Français. Paris : SEUIL, août 2019. ISBN : 978-2-02-142331-0.
- [198] Sebastian DETERDING et al. « Gamification : Toward a definition ». In : *Proceedings of CHI 2011 Workshop Gamification : Using Game Design Elements in Non-Game Contexts* (jan. 2011), p. 6-9.
- [199] Diana DEUTSCH. « 6 - Grouping Mechanisms in Music ». en. In : *The Psychology of Music (Third Edition)*. Sous la dir. de Diana DEUTSCH. Academic Press, jan. 2013, p. 183-248. ISBN : 978-0-12-381460-9. DOI : 10 . 1016 / B978 - 0 - 12 - 381460 - 9 . 00006 - 7. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123814609000067> (visité le 15/02/2022).

- [200] *Developing Musicianship through Aural Skills : A Holistic Approach to Sight Singing and Ear Training*. en. Routledge, août 2020. ISBN : 978-0-429-02023-0. DOI : 10 . 4324 / 9780429020230. URL : <https://www.taylorfrancis.com/https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9780429020230/developing-musicianship-aural-skills-kent-cleland-mary-dobrea-grindah1> (visité le 01/04/2021).
- [201] Dr Bharat DHIMAN. *Impact of Smartphone : A Review on Negative Effects on Students*. en. SSRN Scholarly Paper. Rochester, NY, avr. 2021. DOI : 10 . 2139 / ssrn . 4205892. URL : <https://papers.ssrn.com/abstract=4205892> (visité le 25/10/2022).
- [202] Adele DIAMOND. « Executive Functions ». In : *Annual review of psychology* 64 (2013), p. 135-168. ISSN : 0066-4308. DOI : 10 . 1146 / annurev-psych-113011-143750. URL : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4084861/> (visité le 07/06/2022).
- [203] Veronika DIAZ ABRAHAN, Favio SHIFRES et Nadia JUSTEL. « Impact of music-based intervention on verbal memory : an experimental behavioral study with older adults ». en. In : *Cognitive Processing* 22.1 (fév. 2021), p. 117-130. ISSN : 1612-4790. DOI : 10 . 1007 / s10339-020-00993-5. URL : <https://doi.org/10.1007/s10339-020-00993-5> (visité le 22/02/2022).
- [204] de la prospective et de la performance DIRECTION DE L'ÉVALUATION. « Le numérique éducatif, un portrait européen ». In : *NOTE D'INFORMATION n 14, MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE*, (2014).
- [205] Blaženka DIVJAK et al. « Flipped classrooms in higher education during the COVID-19 pandemic : findings and future research recommendations ». In : *International journal of educational technology in higher education* 19.1 (2022), p. 9.
- [206] Rachida DJOUAB et Moncef BARI. « An ISO 9126 Based Quality Model for the e-Learning Systems ». In : *International Journal of Information and Education Technology* 6 (jan. 2016), p. 370-375. DOI : 10 . 7763 / IJIET . 2016 . V6 . 716.
- [207] L. DOBSZAY. « The Kodály Method and Its Musical Basis ». In : *Studia Musicologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 14.1/4 (1972). Number : 1/4 Publisher : Akadémiai Kiadó, p. 15-33. ISSN : 0039-3266. DOI : 10 . 2307 / 901863. URL : <https://www.jstor.org/stable/901863> (visité le 10/04/2021).
- [208] László DOBSZAY. « The Kodály method and its musical basis ». In : *Studia Musicologica* (1972), p. 15-33.

- [209] Sara DOMÍNGUEZ-LLORIA et al. « Content evaluation of mobile device applications for teaching music in elementary education ». In : *Multimedia Tools and Applications* (2023), p. 1-16.
- [210] Sarah E. DOMOFF, Ryan P. FOLEY et Rick FERKEL. « Addictive phone use and academic performance in adolescents ». en. In : *Human Behavior and Emerging Technologies* 2.1 (2020). \_eprint : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/hbe2.171>, p. 33-38. ISSN : 2578-1863. DOI : 10.1002/hbe2.171. URL : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/hbe2.171> (visité le 29/10/2022).
- [211] Frederick J Mc DONALD. « The influence of learning theories on education (1900–1950) ». In : *Teachers College Record* 65.9 (1964), p. 1-26.
- [212] Jay DORFMAN. « Technology in Ohio’s School Music Programs : An Exploratory Study of Teacher Use and Integration ». In : *Contributions to Music Education* 35 (2008). Publisher : Ohio Music Education Association, p. 23-46. ISSN : 0190-4922. URL : <https://www.jstor.org/stable/24127161> (visité le 10/01/2023).
- [213] Regina Antunes Teixeira Dos SANTOS et Luciana DEL BEN. « Contextualized Improvisation in Solfege Class ». en. In : *International Journal of Music Education* 22.3 (2004). Number : 3 Publisher : SAGE Publications, p. 266-276. ISSN : 0255-7614. DOI : 10.1177/0255761404047407. (Visité le 24/05/2021).
- [214] W. Jay DOWLING et Emmanuel BIGAND. « Robert Francès (1919-2012) ». In : *Music Perception : An Interdisciplinary Journal* 30.3 (2013). Publisher : University of California Press, p. 235-236. ISSN : 0730-7829. DOI : 10.1525/mp.2012.30.3.235. URL : <http://www.jstor.org/stable/10.1525/mp.2012.30.3.235> (visité le 29/01/2022).
- [215] W. S. DREW. « The Ear. 1. Ear and Eye ». In : *The Musical Times* 81.1164 (1940). Number : 1164 Publisher : Musical Times Publications Ltd., p. 57-58. ISSN : 0027-4666. DOI : 10.2307/921676. URL : <http://www.jstor.org/stable/921676> (visité le 29/04/2021).
- [216] James E DRISKELL, Ruth P WILLIS et Carolyn COPPER. « Effect of over-learning on retention. » In : *Journal of Applied Psychology* 77.5 (1992), p. 615.
- [217] Beatrice DUBOST. « Le rapport au savoir dans le déchiffrage pianistique, regard sur les erreurs de lecture ». In : *Journal de Recherche en Education Musicale* (2002).

- [218] Robert A DUKE, Carla Davis CASH et Sarah E ALLEN. « Focus of attention affects performance of motor skills in music ». In : *Journal of Research in Music Education* 59.1 (2011), p. 44-55.
- [219] Robert A DUKE et Carla M DAVIS. « Procedural memory consolidation in the performance of brief keyboard sequences ». In : *Journal of Research in Music Education* 54.2 (2006), p. 111-124.
- [220] Robert A DUKE et Jacqueline C HENNINGER. « Effects of verbal corrections on student attitude and performance ». In : *Journal of Research in Music Education* 46.4 (1998), p. 482-495.
- [221] Robert A DUKE, Amy L SIMMONS et Carla Davis CASH. « It's not how much; it's how : Characteristics of practice behavior and retention of performance skills ». In : *Journal of Research in Music Education* 56.4 (2009), p. 310-321.
- [222] Laura DUNBAR et Shelly COOPER. « Speaking the same language : How the Kodály method promotes disciplinary literacy ». In : *General Music Today* 34.1 (2020), p. 14-20.
- [223] John DUNLOSKY et Janet METCALFE. *Metacognition*. Sage Publications, 2008.
- [224] EARMMASTER. *EarMaster - Music Theory & Ear Training on PC, Mac, iPad and iPhone*. Français. Jan. 2022. URL : <https://www.earmaster.com> (visité le 03/01/2022).
- [225] EBSCOhost | 154393070 | *The Musicators Ear Training Programme : a Case Study*. URL : <https://web.p.ebscohost.com/abstract?site=ehost&scope=site&jrn1=20679408&AN=154393070&h=SMUiSP8HwF xz1t07mz5W3iKVRGH9TNL2fAs6RE8kK7eQzuSJ1mQFpJ9ys0tosZEQGgF4vDdw%3d%3d&cr1=c&resultLocal=ErrCr1NoResults&resultNs=Ehost&cr1hashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawler%26jrn1%3d20679408%26AN%3d154393070> (visité le 10/01/2023).
- [226] John M. EDDINS. « A Brief History of Computer-Assisted Instruction in Music ». In : *College Music Symposium* 21.2 (1981). Publisher : College Music Society, p. 7-14. ISSN : 0069-5696. URL : <https://www.jstor.org/stable/40374098> (visité le 25/01/2022).
- [227] John M. EDDINS. *A Brief History of Computer-Assisted Instruction in Music - College Music Symposium*. en-gb. URL : <https://symposium.music.org/index.php/21/item/1884-a-brief-history-of-computer-assisted-instruction-in-music> (visité le 10/12/2022).
- [228] Lars EDLUND. *Modus Novus*. English. Beekman Books Inc, jan. 1990. ISBN : 978-0-8464-4156-4.

- [229] Chamila Nishanthi EDWARD, David ASIRVATHAM et Md. Gapar Md. JOHAR. « Effect of blended learning and learners' characteristics on students' competence : An empirical evidence in learning oriental music ». en. In : *Education and Information Technologies* 23.6 (nov. 2018), p. 2587-2606. ISSN : 1573-7608. DOI : 10.1007/s10639-018-9732-4. URL : <https://doi.org/10.1007/s10639-018-9732-4> (visité le 23/01/2023).
- [230] Jos J. EGGERMONT et Xiaoqin WANG. « Temporal coding in auditory cortex ». English (US). In : *The Auditory Cortex* (jan. 2011). Publisher : Springer US, p. 309-328. DOI : 10.1007/978-1-4419-0074-6\_14. URL : <https://jhu.pure.elsevier.com/en/publications/temporal-coding-in-auditory-cortex-3> (visité le 14/02/2022).
- [231] Albert EINSTEIN et al. *The Principle of Relativity*. London : Methuen, 1923.
- [232] Howard ELLIS. « Lowell Mason and the Manual of the Boston Academy of Music ». en. In : *Journal of Research in Music Education* 3.1 (avr. 1955). Number : 1 Publisher : SAGE Publications Inc, p. 3-10. ISSN : 0022-4294. DOI : 10.2307/3344405. URL : <https://doi.org/10.2307/3344405> (visité le 09/04/2021).
- [233] Mamarajabov Adil ELMURZAEVICH. « USE OF CLOUD TECHNOLOGIES IN EDUCATION ». en. In : *Conference Zone* (fév. 2022), p. 191-192. URL : <http://conferencezone.org/index.php/cz/article/view/252> (visité le 21/10/2022).
- [234] Jaques-Dalcroze ÉMILE 1865-1950. *Le Rythme, La Musique Et L'éducation*. Français. Nabu Press, jan. 2010. ISBN : 978-1-246-82006-5.
- [235] Noel ENTWISTLE. « Promoting deep learning through teaching and assessment : conceptual frameworks and educational contexts ». In : *TLRP conference, Leicester*. T. 1. Citeseer. 2000, p. 12.
- [236] Rachel ERICKSON. « Middle level Kodály-based music reading and ear training curriculum for the smart board - ». fr. Thèse de doct. US : Silver Lake College, 2010. URL : <https://www.proquest.com/openview/efc023e737260a04d313eb91e5511627/1?pq-origsite=gscholar&cb1=18750> (visité le 10/01/2023).
- [237] Rachel F ERICKSON. *Middle level Kodály-based music reading and ear training curriculum for the smart board*. Silver Lake College, 2010.
- [238] K Anders ERICSSON et Walter KINTSCH. « Long-term working memory. » In : *Psychological review* 102.2 (1995), p. 211.



- [239] Erik ERIKSON. « Theory of identity development ». In : *E. Erikson, Identity and the life cycle*. Nueva York : International Universities Press. Obtenido de [http://childdevpsychology.yolasite.com/resources/theory% 20of% 20ident ity% 20erikson. pdf](http://childdevpsychology.yolasite.com/resources/theory%20of%20identity%20erikson.pdf) (1959).
- [240] Peggy A ERTMER et Timothy J NEWBY. « Behaviorism, cognitivism, constructivism : Comparing critical features from an instructional design perspective ». In : *Performance improvement quarterly* 6.4 (1993), p. 50-72.
- [241] Michael K ESTEP. « The Effects of Using the Practical Ear Training Tool (PET) Paired with Mnemonic Imagery on Enhancing Traditional Ear Training Methods for Undergraduate Music Students ». Thèse de doct. Nova Southeastern University, 2005.
- [242] EUROPEAN FOUNDATION FOR CHINESE MUSIC RESEARCH et SHANGHAI YIN YUE XUE YUAN. « Chime : newsletter of the European Foundation for Chinese Music Research = Qing. » Chiefly in English ; some Chinese. In : *Chime : newsletter of the European Foundation for Chinese Music Research = Qing*. (1990). Place : Leiden, the Netherlands Publisher : European Foundation for Chinese Music Research OCLC : 24167391. ISSN : 0926-7263.
- [243] *Evaluation of Auditory Stream Segregation in Musicians and Nonmusicians*. URL : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7851367/> (visité le 01/08/2022).
- [244] F. Alton EVEREST et Ken POHLMANN. *Master Handbook of Acoustics*. Anglais. 7e édition. New York : McGraw-Hill Education, oct. 2021. ISBN : 978-1-260-47359-9.
- [245] Victoria EYHARABIDE et Analía AMANDI. « Ontology-based user profile learning ». en. In : *Applied Intelligence* 36.4 (juin 2012), p. 857-869. ISSN : 1573-7497. DOI : 10.1007/s10489-011-0301-4. URL : <https://doi.org/10.1007/s10489-011-0301-4> (visité le 18/10/2022).
- [246] Pierre FALZON. *Ergonomie*. PUF, 2014.
- [247] Edgar FAURE et al. « Apprendre à être ». In : (1972).
- [248] Evelina FEDORENKO et al. « Structural integration in language and music : Evidence for a shared system ». en. In : *Memory & Cognition* 37.1 (jan. 2009), p. 1-9. ISSN : 1532-5946. DOI : 10.3758/MC.37.1.1. URL : <https://doi.org/10.3758/MC.37.1.1> (visité le 22/02/2022).
- [249] Lisa FEIGENSON. « Surprise enhances early learning ». In : *Core knowledge and conceptual change* (2016), p. 89-102.

- [250] Laura FERRERI et al. « Music improves verbal memory encoding while decreasing prefrontal cortex activity : an fNIRS study ». In : *Frontiers in Human Neuroscience* 7 (2013). ISSN : 1662-5161. URL : <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnhum.2013.00779> (visité le 22/02/2022).
- [251] François-Joseph FÉTIS. *Histoire générale de la musique depuis les temps les plus anciens jusqu'à nos jours*. fr. Google-Books-ID : dnVfAAAACAAJ. Didot, 1872.
- [252] Katherine K FINCH et al. « Mental imagery and musical performance : Development of the Musician's Arousal Regulation Imagery Scale ». en. In : *Psychology of Music* 49.2 (mars 2021). Publisher : SAGE Publications Ltd, p. 227-245. ISSN : 0305-7356. DOI : 10.1177/0305735619849628. URL : <https://doi.org/10.1177/0305735619849628> (visité le 07/06/2022).
- [253] Peter FISK. *Education 4.0 ... the future of learning will be dramatically different, in school and throughout life*. en-GB. Jan. 2017. URL : <https://www.peterfisk.com/2017/01/future-education-young-everyone-taught-together/> (visité le 21/10/2022).
- [254] Glen Patrick FLANIGAN. *An Investigation of the Effects of the Use of Smart-Music Software by Brass Players on Intonation and Rhythmic Accuracy*. en. Publication Title : ProQuest LLC. ProQuest LLC, 2008. ISBN : 978-1-109-68790-3. (Visité le 21/01/2022).
- [255] Paul FLEET et Kent D. CLELAND. « : Clausula Vera (True Cadence) ». In : *The Routledge Companion to Aural Skills Pedagogy*. Num Pages : 8. Routledge, 2021. ISBN : 978-0-429-27639-2.
- [256] Nathan FLESHNER et Trevor de CLERCQ. « Technology Inside, Outside, and as the University Aural Skills Classroom ». In : *The Routledge Companion to Aural Skills Pedagogy*. Num Pages : 9. Routledge, 2021. ISBN : 978-0-429-27639-2.
- [257] Alex Wilfried Kamga FOGNO et al. « Relations entre usage des écrans, exposition à la lumière naturelle et sommeil chez les enfants en France pendant le premier confinement consécutif à l'épidémie SARS-CoV-2 ». In : *Médecine du Sommeil* 19.3 (2022), p. 166-174.
- [258] Guillaume FOURNIER. « L'apport des stratégies dans l'apprentissage du solfège chez les étudiants en musique de niveau collégial ». fr. In : (), p. 148.

- [259] Guillaume FOURNIER et al. « Cognitive strategies in sight-singing : The development of an inventory for aural skills pedagogy ». en. In : *Psychology of Music* 47.2 (mars 2019). Number : 2, p. 270-283. ISSN : 0305-7356, 1741-3087. DOI : 10.1177/0305735617745149. URL : <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0305735617745149> (visité le 24/05/2021).
- [260] Guillaume FOURNIER et al. « Cognitive strategies in sight-singing : The development of an inventory for aural skills pedagogy ». en. In : *Psychology of Music* 47.2 (mars 2019). Publisher : SAGE Publications Ltd, p. 270-283. ISSN : 0305-7356. DOI : 10.1177/0305735617745149. URL : <https://doi.org/10.1177/0305735617745149> (visité le 08/02/2022).
- [261] ROBERT FRANCÈS. « L'enseignement programmé de la musique. Principes d'une structuration de la matière et résultats d'un programme de solfège élémentaire ». In : (1974).
- [262] Robert FRANCÈS. « La musique pour enfants ». In : *Enfance* 9.3 (1956), p. 220-224.
- [263] Robert FRANCÈS. *La perception de la musique*. T. 14. Vrin, 1984.
- [264] Robert FRANCÈS. *Méthode d'enseignement audio-guidé de solfège*. Editions E.A.P, 1980.
- [265] Daniel Ravelo FRANCO. « EXPERIENCIA DEL ENTRENAMIENTO MUSICAL EN UNA UNIVERSIDAD PARTICULAR DE LIMA ». es. In : *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria* (), p. 84-106. ISSN : 2223-2516. DOI : 10.19083/ridu.6.43. URL : <https://revistas.upc.edu.pe/index.php/docencia/article/view/43> (visité le 10/04/2021).
- [266] Kendra FRANKS. « Secondary Music Educators' Curiosity Dimensions and Perceptions of Curiosity in the Classroom ». Thèse de doct. University of Missouri-Columbia, 2021.
- [267] Scott FREEMAN et al. « Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics ». In : *Proceedings of the national academy of sciences* 111.23 (2014), p. 8410-8415.
- [268] Célestin FREINET. « Célestin Freinet ». In : *Œuvres pédagogiques*. Paris : Éd. du Seuil (1994).
- [269] *Frontiers | Toward a Neural Basis of Music Perception – A Review and Updated Model | Psychology*. URL : <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2011.00110/full> (visité le 14/02/2022).

- [270] Suad A. A. AL-FURAIH et Hamed M. AL-AWIDI. « Fear of missing out (FoMO) among undergraduate students in relation to attention distraction and learning disengagement in lectures ». en. In : *Education and Information Technologies* 26.2 (mars 2021), p. 2355-2373. ISSN : 1573-7608. DOI : 10.1007/s10639-020-10361-7. URL : <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10361-7> (visité le 29/10/2022).
- [271] Nadine GAAB et al. « The influence of sleep on auditory learning : a behavioral study ». In : *Neuroreport* 15.4 (2004), p. 731-734.
- [272] Alf GABRIELSSON. « The performance of music ». In : *The psychology of music*. Elsevier, 1999, p. 501-602.
- [273] Pierre GALIN. *Exposition d'une nouvelle méthode pour l'enseignement de la musique*. Baron, 1835.
- [274] Marina GALL. « Technology in music education in England and across Europe ». In : *The Oxford handbook of technology and music education* (2017), p. 31-48.
- [275] *Gallica, la Bibliothèque numérique de la BnF et de ses partenaires*. fr. URL : <https://www.bnf.fr/fr/gallica-la-bibliotheque-numerique-de-la-bnf-et-de-ses-partenaires> (visité le 24/10/2022).
- [276] María Fátima GARCÍA RODRÍGUEZ et Manuela RAPOSO RIVAS. « Trabajando con videojuegos en el aula : una experiencia con wii music ». spa. In : *Tendencias pedagógicas* 22 (2013). Publisher : Departamento de Didáctica y Teoría de la Educación Section : Tendencias pedagógicas, p. 45-58. ISSN : 1133-2654. URL : <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4656516> (visité le 01/02/2023).
- [277] Desirée GARCÍA-GIL et Roberto Cremades ANDREU. « Gender Differences in Music Content Learning using a Virtual Platform in Secondary Education ». en. In : *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. Education, Health and ICT for a Transcultural World 237 (2017), p. 57-63. ISSN : 1877-0428. DOI : 10.1016/j.sbspro.2017.02.017. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042817300174> (visité le 17/01/2022).
- [278] Víctor J GARCÍA-MORALES, Aurora GARRIDO-MORENO et Rodrigo MARTÍN-ROJAS. « The transformation of higher education after the COVID disruption : Emerging challenges in an online learning scenario ». In : *Frontiers in psychology* 12 (2021), p. 616059.
- [279] Howard GARDNER. « Education for understanding during the early years : Excerpts from *The Unschooled Mind* ». In : *Journal of Museum Education* 17.2 (1992), p. 4-6.

- [280] Vahid GAROUSI et al. « Software-testing education : A systematic literature mapping ». In : *Journal of Systems and Software* 165 (2020), p. 110570.
- [281] Janet Claire GARTON. *The efficacy of computer-based and tape-recorded assistance in second-semester freshman ear-training instruction*. Louisiana State University et Agricultural & Mechanical College, 1981.
- [282] Juan GARZÓN. « An overview of twenty-five years of augmented reality in education ». In : *Multimodal Technologies and Interaction* 5.7 (2021), p. 37.
- [283] Sarah GATES. « Developing Musical Imagery : Contributions from Pedagogy and Cognitive Science ». en. In : *Music Theory Online* 27.2 (juin 2021). URL : <https://mtosmt.org/issues/mto.21.27.2/mto.21.27.2.gates.html> (visité le 17/03/2022).
- [284] Pierre GAUCHER. « L'enseignement musical universitaire et son prolongement en IUFM ». In : *Tréma* 25 (2005).
- [285] Patrick GAUDREAU, Dave MIRANDA et Alexandre GAREAU. « Canadian university students in wireless classrooms : What do they do on their laptops and does it really matter ? » en. In : *Computers & Education* 70 (jan. 2014), p. 245-255. ISSN : 0360-1315. DOI : 10.1016/j.compedu.2013.08.019. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131513002546> (visité le 27/10/2022).
- [286] Brent GAULT. « Music Learning Through All the Channels : Combining Aural, Visual, and Kinesthetic Strategies to Develop Musical Understanding ». In : *General Music Today* 19.1 (oct. 2005). Publisher : SAGE Publications Inc, p. 7-9. ISSN : 1048-3713. DOI : 10.1177/10483713050190010103. URL : <https://doi.org/10.1177/10483713050190010103> (visité le 22/02/2022).
- [287] Helena GAUNT et Heidi WESTERLUND. *Collaborative Learning in Higher Music Education*. en. Google-Books-ID : fVY3DAAAQBAJ. Routledge, mai 2016. ISBN : 978-1-317-16440-1.
- [288] Phillip John GEARING. « The Evaluation of a Tertiary-level Distance-mode Aural Training Programme ». en. In : (), p. 226.
- [289] David C GEARY. « An evolutionarily informed education science ». In : *Educational psychologist* 43.4 (2008), p. 179-195.
- [290] James Paul GEE. « What video games have to teach us about learning and literacy ». In : *Computers in Entertainment* 1.1 (oct. 2003). Number : 1, p. 20. DOI : 10.1145/950566.950595. URL : <https://doi.org/10.1145/950566.950595> (visité le 04/01/2022).

- [291] Étienne GÉGOUT. « Les grandes familles logicielles ». In : *Les dossiers de l'ingénierie éducative : Des outils pour la musique* 43 (2003), p. 46-47.
- [292] Rebecca W. GELDING, William Forde THOMPSON et Blake W. JOHNSON. « The Pitch Imagery Arrow Task : Effects of Musical Training, Vividness, and Mental Control ». en. In : *PLOS ONE* 10.3 (mars 2015). Publisher : Public Library of Science, e0121809. ISSN : 1932-6203. DOI : 10.1371/journal.pone.0121809. URL : <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0121809> (visité le 07/06/2022).
- [293] Elyse M. GEORGE et Donna COCH. « Music training and working memory : An ERP study ». en. In : *Neuropsychologia* 49.5 (avr. 2011), p. 1083-1094. ISSN : 0028-3932. DOI : 10.1016/j.neuropsychologia.2011.02.001. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0028393211000613> (visité le 07/06/2022).
- [294] Kenneth J GERGEN. « Social constructionist inquiry : Context and implications ». In : *The social construction of the person*. Springer, 1985, p. 3-18.
- [295] Sam J GILBERT et Paul W BURGESS. « Executive function ». In : *Current biology* 18.3 (2008), R110-R114.
- [296] Nikita GJERMUNDS et al. « Personality traits in musicians ». In : *Current Issues in Personality Psychology* 8.2 (2020), p. 100-107.
- [297] Sarah Ann GLOVER. *Scheme for rendering Psalmody congregational; comprising a key to the sol-fa notation of music, and directions for instructing a school.*[By Sarah A. Glover.] Jarrold & Sons, 1835.
- [298] Thomas GOLDIN et al. « Reference Architecture for an Integrated and Synergetic Use of Digital Tools in Education 4.0 ». en. In : *Procedia Computer Science*. 3rd International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing 200 (jan. 2022), p. 407-417. ISSN : 1877-0509. DOI : 10.1016/j.procs.2022.01.239. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050922002484> (visité le 19/10/2022).
- [299] José GOMES, Mauro FIGUEIREDO et Lúcia AMANTE. « Musical journey : a virtual world gamification experience for music learning ». eng. In : *International Journal on Advances in Education Research* 1.1 (2014). Accepted : 2017-04-05T13:18:46Z Publisher : EduRe Academy, p. 1-21. ISSN : 2340-2504. URL : <https://sapiencia.ualg.pt/handle/10400.1/9139> (visité le 05/02/2023).

- [300] José GOMES, Mauro FIGUEIREDO et Lúcia AMANTE. « Musical journey : a virtual world gamification experience for music learning ». eng. In : *International Journal on Advances in Education Research* 1.1 (2014). Accepted : 2017-04-05T13 :18 :46Z Publisher : EduRe Academy, p. 1-21. ISSN : 2340-2504. URL : <https://sapiencia.ualg.pt/handle/10400.1/9139> (visité le 06/02/2023).
- [301] M.S. GONCHAROVA et I.B. GORBUNOVA. « Mobile Technologies in the Process of Teaching Music Theory ». In : *Propósitos y Representaciones* 8 (jan. 2020). DOI : 10.20511/pyr2020.v8nSPE3.705.
- [302] Meghan GOODCHILD et Stephen McADAMS. *Perceptual Processes in Orchestration*. en. ISBN : 9780190637224. Oct. 2021. DOI : 10.1093/oxfordhb/9780190637224.013.10. URL : <https://www.oxfordhandbooks.com/view/10.1093/oxfordhb/9780190637224.001.0001/oxfordhb-9780190637224-e-10> (visité le 06/06/2022).
- [303] Meghan GOODCHILD et Stephen McADAMS. *Perceptual Processes in Orchestration*. en. ISBN : 9780190637224. Oct. 2021. DOI : 10.1093/oxfordhb/9780190637224.013.10. URL : <https://www.oxfordhandbooks.com/view/10.1093/oxfordhb/9780190637224.001.0001/oxfordhb-9780190637224-e-10> (visité le 07/06/2022).
- [304] Edwin GORDON. *A music learning theory for newborn and young children*. Gia Publications, 2003.
- [305] Munil Shiva GOUNDAR, Bimal Aklesh KUMAR et ABM Shawkat ALI. « Development of usability guidelines : a systematic literature review ». In : *International Journal of Human-Computer Interaction* 40.5 (2024), p. 1298-1316.
- [306] Louise GOUPIL, Margaux ROMAND-MONNIER et Sid KOUIDER. « Infants ask for help when they know they don't know ». In : *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113.13 (2016), p. 3492-3496.
- [307] Peter GOUZOUASIS et Danny BAKAN. « The future of music making and music education in a transformative digital world ». In : *UNESCO Observatory Refereed E-Journal, Multi-Disiplinary Research in the Arts* 2 (jan. 2011).
- [308] Elsa GRABOWSKI. *Ma boîte à musiques*. BILLAUDOT, 2018.
- [309] Carla GRAMAGLIA et al. « Outcomes of music therapy interventions in cancer patients—A review of the literature ». en. In : *Critical Reviews in Oncology/Hematology* 138 (juin 2019), p. 241-254. ISSN : 1040-8428. DOI : 10.1016/j.critrevonc.2019.04.004. URL : <https://www.>

- sciencedirect.com/science/article/pii/S1040842818305456 (visité le 12/12/2022).
- [310] Michael D. GREEN. « Mathis Lussy's "Traité de l'expression musicale" as a Window into Performance Practice ». In : *Music Theory Spectrum* 16.2 (1994). Number : 2 Publisher : [Oxford University Press, Society for Music Theory], p. 196-216. ISSN : 0195-6167. DOI : 10.2307/746033. URL : <https://www.jstor.org/stable/746033> (visité le 03/09/2021).
- [311] Daniel L. GREENBERG et Mieke VERFAELLIE. « Interdependence of episodic and semantic memory : Evidence from neuropsychology ». en. In : *Journal of the International Neuropsychological Society* 16.5 (sept. 2010). Publisher : Cambridge University Press, p. 748-753. ISSN : 1469-7661, 1355-6177. DOI : 10.1017/S1355617710000676. URL : <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-the-international-neuropsychological-society/article/interdependence-of-episodic-and-semantic-memory-evidence-from-neuropsychology/1A97EFA24F2CDED16D12964AD5> (visité le 22/02/2022).
- [312] Shirley GREGOR, Leona CHANDRA KRUSE et Stefan SEIDEL. « Research perspectives : the anatomy of a design principle ». In : *Journal of the Association for Information Systems* 21.6 (2020), p. 2.
- [313] Sotiria GREK et Paolo LANDRI. « Editorial : Education in Europe and the COVID-19 Pandemic ». en. In : *European Educational Research Journal* 20.4 (juill. 2021). Publisher : SAGE Publications, p. 393-402. ISSN : 1474-9041. DOI : 10.1177/14749041211024781. URL : <https://doi.org/10.1177/14749041211024781> (visité le 21/10/2022).
- [314] Noemí GRINSPUN et al. « Selective attention and inhibitory control of attention are correlated with music audiation ». In : *Frontiers in psychology* 11 (2020), p. 526077.
- [315] John GROOM-THORNTON. « Non-harmony : "A VITAL ELEMENT OF EAR-TRAINING IN MUSIC CAI ». en. In : *Proceedings of NECC/2 National Educational Computing*. T. 2. Norfolk, Virginia : Iowa University, 1980, p. 54-57.
- [316] Dorothy GROSS et Wendy GRIFFIN. « Implementation and Evaluation of a Computer-Assisted Course in Musical Aural Skills ». In : *AEDS Journal* 15.3 (mars 1982). Publisher : Taylor & Francis \_eprint : <https://doi.org/10.1080/00011037.1982.11008314>, p. 143-150. ISSN : 0001-1037. DOI : 10.1080/00011037.1982.11008314. URL : <https://doi.org/10.1080/00011037.1982.11008314> (visité le 10/01/2023).



- [317] *Grouping Mechanisms in Music* - ScienceDirect. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123814609000067?via%3Dihub> (visité le 15/02/2022).
- [318] Matthias J GRUBER et Yana FANDAKOVA. « Curiosity in childhood and adolescence—what can we learn from the brain ». In : *Current Opinion in Behavioral Sciences* 39 (2021), p. 178-184.
- [319] Wilfried GRUHN. « Is Lowell Mason’s Manual Based on Pestalozzian Principles? An Inquiry into the Controversy of Methods in the Nineteenth Century ». In : *The Bulletin of Historical Research in Music Education* 14.2 (1993), p. 92-101.
- [320] Fabrice GUÉDY, Jean BRESSON et Gérard ASSAYAG. *Musique Lab 2 - Un environnement d’aide à la pédagogie musicale*. Jan. 2007.
- [321] Rodney GURLEY. « Student perception of the effectiveness of SmartMusic as a practice and assessment tool on middle school and high school band students ». eng. Thesis. Mai 2012. URL : <https://ttu-ir.tdl.org/handle/2346/45246> (visité le 21/01/2022).
- [322] Michael GUSENBAUER. « Google Scholar to overshadow them all? Comparing the sizes of 12 academic search engines and bibliographic databases ». en. In : *Scientometrics* 118.1 (jan. 2019), p. 177-214. ISSN : 1588-2861. DOI : 10.1007/s11192-018-2958-5. URL : <https://doi.org/10.1007/s11192-018-2958-5> (visité le 12/12/2022).
- [323] John HABRON. « Book Review : Le rythme – une révolution! Émile Jaques-Dalcroze à Hellerau, edited by Claire Kuschnig and Anne Pellois, 100 Anys Fent Scola : 100 Anys de Rítmica, by Àgata Olivella Roig and Practical Idealists : Founders of the London School of Dalcroze Eurhythmics—A Centenary Essay, by Selma Landen Odom and Joan Pope ». en. In : *Journal of Historical Research in Music Education* 40.2 (avr. 2019). Number : 2 Publisher : SAGE Publications Inc, p. 195-199. ISSN : 1536-6006. DOI : 10.1177/1536600618824178. URL : <https://doi.org/10.1177/1536600618824178> (visité le 03/09/2021).
- [324] Ervin R. HAFTER, Anastasios SARAMPALIS et Psyche LOUI. « Auditory Attention and Filters ». en. In : *Auditory Perception of Sound Sources*. Sous la dir. de William A. YOST, Arthur N. POPPER et Richard R. FAY. Springer Handbook of Auditory Research. Boston, MA : Springer US, 2008, p. 115-142. ISBN : 978-0-387-71305-2. DOI : 10.1007/978-0-387-71305-2\_5. URL : [https://doi.org/10.1007/978-0-387-71305-2\\_5](https://doi.org/10.1007/978-0-387-71305-2_5) (visité le 03/02/2022).

- [325] Gali HALEVI, Henk MOED et Judit BAR-ILAN. « Suitability of Google Scholar as a source of scientific information and as a source of data for scientific evaluation—Review of the Literature ». en. In : *Journal of Informetrics* 11.3 (août 2017), p. 823-834. ISSN : 1751-1577. DOI : 10.1016/j.joi.2017.06.005. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751157717300676> (visité le 12/12/2022).
- [326] F. HALÉVY. *Leçons de lecture musicale : méthode complète de solfège : ouvrage adopté pour les écoles de Paris pour l'ophéon, et pour les classes du conservatoire impérial de musique*. Léon Escudier, 1859. URL : <https://books.google.fr/books?id=ZdMIzQEACAAJ>.
- [327] Fromental HALÉVY. *Leçons de lecture musicale*. Escudier, 1857.
- [328] Susan HALLAM. *Musicality*. Oxford University Press, 2006.
- [329] Andrea R. HALPERN. « Differences in auditory imagery self-report predict neural and behavioral outcomes ». In : *Psychomusicology : Music, Mind, and Brain* 25.1 (2015). Place : US Publisher : Educational Publishing Foundation, p. 37-47. ISSN : 2162-1535. DOI : 10.1037/pmu0000081.
- [330] D. W. HAMLIN. « INTRODUCTION ». In : *The Psychology of Perception*. Num Pages : 10. Routledge, 1957. ISBN : 978-1-315-47329-1.
- [331] Paul HARDER. « Review of Teacher's Dictation Manual in Ear Training ; Workbook in Ear Training ; Learning to Hear ; A Manuel for Ear-Training ». In : *Journal of Music Theory* 11.1 (1967). Number : 1 Reviewed Authors : \_:n446 Publisher : [Duke University Press, Yale University Department of Music], p. 160-163. ISSN : 0022-2909. DOI : 10.2307/842956. URL : <https://www.jstor.org/stable/842956> (visité le 29/04/2021).
- [332] Robin HARRISON. « An introduction to the Kodály Method : Credited by UNESCO as an intangible cultural heritage ». In : *The Routledge companion to aural skills pedagogy*. Routledge, 2021, p. 298-305.
- [333] Anne HARTREE. « Malcolm Knowles' theory of andragogy : A critique ». In : *International journal of lifelong education* 3.3 (1984), p. 203-210.
- [334] John HATTIE. *Visible Learning : A Synthesis of Over 800 Meta-Analyses Relating to Achievement*. London : Routledge, nov. 2008. ISBN : 978-0-203-88733-2. DOI : 10.4324/9780203887332.
- [335] John HATTIE et Mark GAN. « Instruction based on feedback ». In : *Handbook of research on learning and instruction*. Routledge, 2011, p. 263-285.
- [336] Niels HAUMANN. « An Introduction to Cognitive Musicology : Historical-Scientific Presuppositions in the Psychology of Music ». In : *Danish Musicology Online* (juill. 2015).

- [337] Sylvie HÉBERT et Lola L CUDDY. « Music-reading deficiencies and the brain ». In : *Advances in Cognitive Psychology* 2.2 (2006), p. 199.
- [338] D. P. HEDGES. « Taking notes : The history, practice, and innovation of musical dictation in English and American aural skills pedagogy. » en. In : (2000), p. 1. URL : <https://elibrary.ru/item.asp?id=5450957> (visité le 21/05/2021).
- [339] Don P HEDGES. « Taking notes : The history, practice, and innovation of musical dictation in English and American aural skills pedagogy ». Thèse de doct. Indiana, USA : Indiana University, 1999.
- [340] David HEINSEN et Robin HEINSEN. « Promoting Far Transfer and 21st-Century Competency Through the Aural Skills Capstone Project ». en. In : *Engaging Students : Essays in Music Pedagogy* 7 (2019). ISSN : 2689-2871. DOI : 10.18061/es.v7i0.7365. URL : <https://engagingstudentsmusic.org/index.php/engagingstudents/article/view/7365> (visité le 23/01/2023).
- [341] Karin S HENDRICKS. « The sources of self-efficacy : Educational research and implications for music ». In : *Update : Applications of Research in Music Education* 35.1 (2016), p. 32-38.
- [342] George HENIK. « You are entering a world of sight and sound : The effects of self-generated images on music ear-training as a possible alternate teaching approach for music education within a web-based environment ». In : *EdMedia+ Innovate Learning*. Association for the Advancement of Computing in Education (AACE). 2002, p. 775-776.
- [343] John A HENSCHKE. « Beginnings of the history and philosophy of andragogy 1833-2000 ». In : *Integrating adult learning and technologies for effective education : Strategic approaches*. IGI Global, 2010, p. 1-30.
- [344] Anna Catharina HERBST. « Didactical perspectives of aural training ». en. In : *undefined* (1993). URL : </paper/Didactical-perspectives-of-aural-training-Herbst/907f275b217a705d2f73000aff29908510807650> (visité le 21/05/2021).
- [345] Sibylle C. HERHOLZ et al. « Neural basis of music imagery and the effect of musical expertise ». en. In : *European Journal of Neuroscience* 28.11 (2008). \_eprint : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1460-9568.2008.06515.x>, p. 2352-2360. ISSN : 1460-9568. DOI : 10.1111/j.1460-9568.2008.06515.x. URL : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1460-9568.2008.06515.x> (visité le 29/03/2022).
- [346] Dorin HERLO et al. « Connectivism, a new learning theory? » In : *European Proceedings of Social and Behavioural Sciences* (2017).

- [347] Evelyn HERMANN. *Shinichi Suzuki : The Man and His Philosophy (Revised)*. en. Google-Books-ID : e8OkE55py04C. Alfred Music, nov. 1999. ISBN : 978-1-4574-0353-8.
- [348] Isabelle HÉROUX, Louis-Édouard THOUIN-POPPE et Marie-Soleil FORTIER. « L'enseignement de la musique dans les programmes scolaires publics francophones du Québec de 1904 à nos jours ». In : *Revue musicale OICRM* 8.2 (2021), p. 108-131.
- [349] Rebecca M. HERROLD. *Computer-Assisted Instruction : A Study of Student Performance in the Stanford CAI Ear-Training Program*. en. Rapp. tech. ERIC Number : ED172810. 1974. (Visité le 10/01/2023).
- [350] George J. HESS. *Strategies for Integrating Computer-Based Training in College Music Theory Courses*. en. Rapp. tech. ERIC Number : ED388256. 1994. URL : <https://eric.ed.gov/?id=ED388256> (visité le 10/01/2023).
- [351] Thomas T HEWETT et al. *ACM SIGCHI curricula for human-computer interaction*. ACM, 1992.
- [352] Peter HILL. *Stravinsky : The Rite of Spring*. en. Cambridge University Press, nov. 2000. ISBN : 978-0-521-62714-6.
- [353] Barbara HOF. « From Harvard via Moscow to West Berlin : Educational technology, programmed instruction and the commercialisation of learning after 1957 ». In : *History of Education* 47.4 (2018), p. 445-465.
- [354] Fred T. HOFSTETTER. « Applications of the GUIDO System to Aural Skills Research, 1975-80 ». In : *College Music Symposium* 21.2 (1981). Publisher : College Music Society, p. 46-53. ISSN : 0069-5696. URL : <https://www.jstor.org/stable/40374104> (visité le 27/01/2022).
- [355] Eder HOLGUIN. « El diseño de herramientas de evaluación para la enseñanza de la música ». es-ar. Thèse de doct. Argentina : Universidad Nacional de Rosario, 2017. URL : <https://www.studocu.com/es-ar/document/universidad-nacional-de-rosario/didactica-musical/eder-holguin-tesis/33597048> (visité le 31/01/2023).
- [356] Eder HOLGUÍN RIVAS. « El diseño de herramientas de evaluación para la enseñanza de la música. » spa. Accepted : 2020-07-28T15 :15 :59Z. Publisher : Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Thèse de doct. Universidad Nacional de Rosario, sept. 2018. URL : <http://erecursos.uacj.mx/handle/20.500.11961/5670> (visité le 10/01/2023).
- [357] Nina HOLLENDER et al. « Integrating cognitive load theory and concepts of human-computer interaction ». In : *Computers in human behavior* 26.6 (2010), p. 1278-1288.

- [358] Erik HOLLNAGEL. « Cognitive ergonomics : it's all in the mind ». In : *Ergonomics* 40.10 (1997), p. 1170-1182.
- [359] Emmanuel HONDRÉ. « Le Conservatoire de Paris et le renouveau du « chant français » ». fr. In : *Romantisme* 26.93 (1996). Number : 93, p. 83-94. ISSN : 0048-8593. DOI : 10.3406/roman.1996.3128. URL : [https://www.persee.fr/doc/roman\\_0048-8593\\_1996\\_num\\_26\\_93\\_3128](https://www.persee.fr/doc/roman_0048-8593_1996_num_26_93_3128) (visité le 09/04/2021).
- [360] Henkjan HONING. « Structure and interpretation of rhythm in music ». In : *The psychology of music, 3rd ed.* San Diego, CA, US : Elsevier Academic Press, 2013, p. 369-404. DOI : 10.1016/B978-0-12-381460-9.00009-2.
- [361] Henkjan HONING et al. « Without it no music : cognition, biology and evolution of musicality ». In : *Philosophical Transactions of the Royal Society B : Biological Sciences* 370.1664 (mars 2015). Publisher : Royal Society, p. 20140088. DOI : 10.1098/rstb.2014.0088. URL : <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rstb.2014.0088> (visité le 26/03/2022).
- [362] Tomoyasu HORIKAWA et al. « Neural decoding of visual imagery during sleep ». In : *Science* 340.6132 (2013), p. 639-642.
- [363] Micheal HOULAHAN et Philip TACKA. *Kodály Today : A Cognitive Approach to Elementary Music Education*. en. Google-Books-ID : jYElCgAAQBAJ. Oxford University Press, août 2015. ISBN : 978-0-19-023613-7.
- [364] Ee Ran How, Leonard TAN et Peter MIKSZA. « A PRISMA review of research on music practice ». In : *Musicae Scientiae* 26.3 (sept. 2022). Publisher : SAGE Publications Ltd, p. 675-697. ISSN : 1029-8649. DOI : 10.1177/10298649211005531. URL : <https://doi.org/10.1177/10298649211005531> (visité le 12/12/2022).
- [365] Priscilla M. HOWARD. « Kodaly Strategies for Instrumental Teachers ». In : *Music Educators Journal* 82.5 (1996). Number : 5 Publisher : [Sage Publications, Inc., MENC : The National Association for Music Education], p. 27-33. ISSN : 0027-4321. DOI : 10.2307/3398929. URL : <https://www.jstor.org/stable/3398929> (visité le 11/09/2021).
- [366] George G HRUBY et Anthony B ROEGIERS. « Cognitive constructivism ». In : *The encyclopedia of applied linguistics* (2012).
- [367] Chiungjung HUANG. « Social network site use and academic achievement : A meta-analysis ». en. In : *Computers & Education* 119 (avr. 2018), p. 76-83. ISSN : 0360-1315. DOI : 10.1016/j.compedu.2017.12.010. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131517302750> (visité le 27/10/2022).

- [368] Kuo-Ying HUANG. « Challenges in human-computer interaction design for mobile devices ». In : *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*. T. 1. 6. San Francisco, USA. 2009, p. 1-6.
- [369] Yu Ting HUANG et Chi Nung CHU. « Critical Perspectives on Learning Interface Design of Music Sight-Singing : Audition vs. Vision ». en. In : *Frontier Computing*. Sous la dir. de Jason C. HUNG, Neil Y. YEN et Lin HUI. Lecture Notes in Electrical Engineering. Singapore : Springer, 2018, p. 310-314. ISBN : 978-981-10-7398-4. DOI : 10.1007/978-981-10-7398-4\_32.
- [370] Yu Ting HUANG et Chi Nung CHU. « Making Music Meaningful with Adaptive Immediate Feedback Drill for Teaching Children with Cognitive Impairment : A Dual Coding Strategy to Aural Skills ». en. In : *Computers Helping People with Special Needs*. Sous la dir. de Klaus MIESENBERGER et al. Lecture Notes in Computer Science. Cham : Springer International Publishing, 2014, p. 459-462. ISBN : 978-3-319-08596-8. DOI : 10.1007/978-3-319-08596-8\_72.
- [371] Yu Ting HUANG et Chi Nung CHU. « Multi-sensations Mechanism of Users on the Learning Platform Design of Music Aural Skills ». In : *Frontier Computing : Theory, Technologies and Applications (FC 2019) 8*. Springer. 2020, p. 1803-1809.
- [372] Yu Ting HUANG et Chi Nung CHU. « Visualized Comparison as a Correctness Indicator for Music Sight-Singing Learning Interface Evaluation—A Pitch Recognition Technology Study ». en. In : *Frontier Computing*. Sous la dir. de Jason C HUNG, Neil Y. YEN et Kuan-Ching LI. Lecture Notes in Electrical Engineering. Singapore : Springer, 2016, p. 959-964. ISBN : 978-981-10-0539-8. DOI : 10.1007/978-981-10-0539-8\_93.
- [373] Yu Ting HUANG et Chi Nung CHU. « Visualized Comparison as a Correctness Indicator for Music Sight-Singing Learning Interface Evaluation—A Pitch Recognition Technology Study ». en. In : *Frontier Computing*. Sous la dir. de Jason C HUNG, Neil Y. YEN et Kuan-Ching LI. Lecture Notes in Electrical Engineering. Singapore : Springer, 2016, p. 959-964. ISBN : 978-981-10-0539-8. DOI : 10.1007/978-981-10-0539-8\_93.
- [374] Elisa Lorena HUERTAS ANDRADE. « “Elaboración de un texto interactivo de enseñanza-aprendizaje para 1er año de lenguaje musical del conservatorio nacional de música de Quito, utilizando recursos de Internet y de Software Libre” ». es. Accepted : 2018-05-10T19 :28 :08Z. bachelorThesis. PUCE, 2014. URL : <http://repositorio.puce.edu.ec:80/handle/22000/14592> (visité le 01/02/2023).

- [375] Cecilia HULTBERG. « Approaches to Music Notation : The printed score as a mediator of meaning in Western tonal tradition ». In : *Music Education Research* 4.2 (sept. 2002). Publisher : Routledge \_eprint : <https://doi.org/10.1080/1461380022000011902>, p. 185-197. ISSN : 1461-3808. DOI : 10 . 1080 / 1461380022000011902. URL : <https://doi.org/10.1080/1461380022000011902> (visité le 21/02/2022).
- [376] Lee HUMPHRIES. *Learning to Sight-Sing : The Mental Mechanics of Aural Imagery*. English. 2008. URL : [https://www.thinkingapplied.com/sight-singing\\_folder/sight-singing.pdf](https://www.thinkingapplied.com/sight-singing_folder/sight-singing.pdf) (visité le 24/05/2021).
- [377] David HURON. *Voice Leading : The Science Behind a Musical Art*. en. Google-Books-ID : zcrxDAAAQBAJ. MIT Press, sept. 2016. ISBN : 978-0-262-03485-2.
- [378] Anealka Aziz HUSSIN. « Education 4.0 Made Simple : Ideas For Teaching ». en-US. In : *International Journal of Education and Literacy Studies* 6.3 (juill. 2018). Number : 3, p. 92-98. ISSN : 2202-9478. DOI : 10.7575/aiac.ijels.v.6n.3p.92. URL : <http://journals.aiac.org.au/index.php/IJELS/article/view/4616> (visité le 21/10/2022).
- [379] Lotta ILOMÄKI. « Broadening the notion of aural skills through peer learning, instruments and student-framed assignments. A course with music performance students ». In : (2013).
- [380] Lotta ILOMÄKI. *In search of musicianship : a practitioner-research project on pianists' aural-skills education*. en. Studia musica 45. OCLC : 816370460. Helsinki : Sibelius Academy, 2011.
- [381] Xavier Pierre INFORMATIQUE. <https://solfego.fr/>. 2018.
- [382] IRCAM. *10 jeux d'écoute*. 2000. URL : <http://sonhors.free.fr/kronik/10jeuxdecoute.htm#top> (visité le 20/03/2024).
- [383] IREMus. *Bases de données | IReMus*. URL : <https://www.iremuscncrs.fr/fr/bases-de-donnees> (visité le 10/11/2022).
- [384] IREMus et Achille DAVY-RIGAUX. *NEUMA - IReMus*. Consulté le 24 octobre 2023. 2017. URL : <http://neuma.huma-num.fr>.
- [385] IREMus et Achille DAVY-RIGAUX. *Neuma - IReMus*. consulté le 30 octobre 2023. URL : <http://neuma.huma-num.fr/>.

- [386] Akbar ISKANDAR et al. « The Effects of Multimedia Learning on Students Achievement in Terms of Cognitive Test Results ». In : *Journal of Physics : Conference Series* 1114 (nov. 2018), p. 012019. ISSN : 1742-6588, 1742-6596. DOI : 10.1088/1742-6596/1114/1/012019. URL : <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1114/1/012019> (visité le 01/02/2021).
- [387] William JAMES. *The principles of psychology*. T. 1. Cosimo, Inc., 1890.
- [388] Petr JANATA, Barbara TILLMANN et Jamshed J. BHARUCHA. « Listening to polyphonic music recruits domain-general attention and working memory circuits ». en. In : *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience* 2.2 (juin 2002), p. 121-140. ISSN : 1531-135X. DOI : 10.3758/CABN.2.2.121. URL : <https://doi.org/10.3758/CABN.2.2.121> (visité le 22/02/2022).
- [389] Lutz JÄNCKE. « Music, memory and emotion ». In : *Journal of Biology* 7.6 (2008), p. 21. ISSN : 1475-4924. DOI : 10.1186/jbiol182. URL : <https://doi.org/10.1186/jbiol182> (visité le 24/02/2022).
- [390] Lutz JÄNCKE. « The Relationship between Music and Language ». In : *Frontiers in Psychology* 3 (2012). ISSN : 1664-1078. URL : <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2012.00123> (visité le 14/02/2022).
- [391] Émile JAQUES-DALCROZE. « La Musique et nous, Notes sur notre double vie ». fr. In : Bibliothèque numérique romande (1945), p. 360. URL : [https://ebooks-bnr.com/ebooks/pdf5/jaques\\_dalcroze\\_la\\_musique\\_et\\_nous-a5.pdf](https://ebooks-bnr.com/ebooks/pdf5/jaques_dalcroze_la_musique_et_nous-a5.pdf).
- [392] Emile JAQUES-DALCROZE. *Rhythm, Music and Education*. en. Read Books Ltd, avr. 2014. ISBN : 978-1-4733-9264-9.
- [393] John G JENKINS et Karl M DALLENBACH. « Obliviscence during sleep and waking ». In : *The American Journal of Psychology* 35.4 (1924), p. 605-612.
- [394] Addie JOHNSON. « Procedural memory and skill acquisition ». In : *Handbook of psychology : Experimental psychology, Vol. 4, 2nd ed*. Hoboken, NJ, US : John Wiley & Sons, Inc., 2013, p. 495-520.
- [395] Marshall G. JONES. *Creating Electronic Learning Environments : Games, Flow, and the User Interface*. en. Fév. 1998. URL : <https://eric.ed.gov/?id=ED423842> (visité le 16/02/2021).
- [396] Milica JOVANOVIĆ et Jelena Cvetković CRVENICA. « COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CURRICULUM FOR THE SUBJECT SOLFEGGIO (EMS) IN SLOVENIA, MONTENEGRO, CROATIA AND SERBIA ». In : *Facta Universitatis, Series : Visual Arts and Music* (2020), p. 091-104.



- [397] Marja-Leena JUNTUNEN et Leena HYVÖNEN. « Embodiment in Musical Knowing : How Body Movement Facilitates Learning within Dalcroze Eurhythmics ». en. In : *British Journal of Music Education* 21.2 (juill. 2004). Publisher : Cambridge University Press, p. 199-214. ISSN : 0265-0517. DOI : 10.1017/S0265051704005686. (Visité le 23/02/2022).
- [398] Pille KÄHRIK, Äli LEIJEN et Tuulike KIVESTU. « Developing Music Listening Skills Using Active Learning Methods in Secondary Education ». en. In : *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. The 5th International Conference of Intercultural Arts Education 2012 : Design Learning, University of Helsinki, Finland 45 (jan. 2012), p. 206-215. ISSN : 1877-0428. DOI : 10.1016/j.sbspro.2012.06.557. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042812022938> (visité le 21/05/2021).
- [399] Gorgi KAKASEVSKI et al. « Evaluating usability in learning management system moodle ». In : *ITI 2008 - 30th International Conference on Information Technology Interfaces*. ISSN : 1330-1012. Juin 2008, p. 613-618. DOI : 10.1109/ITI.2008.4588480.
- [400] Sean HK KANG. « Spaced repetition promotes efficient and effective learning : Policy implications for instruction ». In : *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences* 3.1 (2016), p. 12-19.
- [401] Avi KARNI et al. « Dependence on REM sleep of overnight improvement of a perceptual skill ». In : *Science* 265.5172 (1994), p. 679-682.
- [402] Jeffrey D KARPICKE et Henry L ROEDIGER III. « The critical importance of retrieval for learning ». In : *science* 319.5865 (2008), p. 966-968.
- [403] Gary KARPINSKI. « A Model for Music Perception and Its Implication in melodic Dictation ». In : *Journal of Music Theory Pedagogy* 4.1 (jan. 1990). URL : <https://digitalcollections.lipscomb.edu/jmtp/vol14/iss1/10>.
- [404] Gary KARPINSKI et Richard KRAM. *Anthology for Sight Singing*. Anglais. Spi édition. New York : W. W. Norton & Co., sept. 2006. ISBN : 978-0-393-97382-2.
- [405] Gary S KARPINSKI. *Aural skills acquisition : the development of listening, reading, and performing skills in college-level musicians*. English. OCLC : 42888064. New York : Oxford University Press, 2000. ISBN : 978-0-19-511785-1.
- [406] Gary S. KARPINSKI. « Lessons from the Past : Music Theory Pedagogy and the Future ». en. In : *Music Theory Online* 6.3 (août 2000). Number : 3. URL : <https://www.mtosmt.org/issues/mto.00.6.3/mto.00.6.3.karpinski.html> (visité le 07/12/2021).

- [407] Gary S. KARPINSKI. *Manual for Ear Training and Sight Singing*. Anglais. Second édition. New York London : WW Norton & Co, 2017. ISBN : 978-0-393-61425-1.
- [408] Gary S. KARPINSKI. « Reviews of Recent Textbooks in Theory and Musicianship. 3. Aural Skills ». In : *Music Theory Spectrum* 15.2 (1993). Sous la dir. de Bruce BENWARD et al. Number : 2 Publisher : [Oxford University Press, Society for Music Theory], p. 241-256. ISSN : 0195-6167. DOI : 10.2307/745817. URL : <https://www.jstor.org/stable/745817> (visité le 29/04/2021).
- [409] Todd B KASHDAN et al. « The Five-Dimensional Curiosity Scale Revised (5DCR) : Briefer subscales while separating overt and covert social curiosity ». In : *Personality and individual differences* 157 (2020), p. 109836.
- [410] Yuka KASUYA-UEBA, Shuo ZHAO et Motomi TOICHI. « The effect of music intervention on attention in children : Experimental evidence ». In : *Frontiers in Neuroscience* 14 (2020), p. 511950.
- [411] Pierre KAUFMANN. *Kurt Lewin : une théorie du champ dans les sciences de l'homme*. Vrin, 1968.
- [412] Sam KAVANAGH et al. « A systematic review of Virtual Reality in education ». en. In : *Themes in Science and Technology Education* 10.2 (déc. 2017). Publisher : Themes in Science and Technology Education, p. 85-119. ISSN : 1792-8788. URL : <https://www.learntechlib.org/p/182115/> (visité le 22/10/2022).
- [413] Peter E. KELLER. « Mental imagery in music performance : underlying mechanisms and potential benefits ». en. In : *Annals of the New York Academy of Sciences* 1252.1 (2012). \_eprint : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1749-6632.2011.06439.x>, p. 206-213. ISSN : 1749-6632. DOI : 10.1111/j.1749-6632.2011.06439.x. URL : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1749-6632.2011.06439.x> (visité le 29/03/2022).
- [414] Peter E. KELLER, Giacomo NOVEMBRE et Michael J. HOVE. « Rhythm in joint action : psychological and neurophysiological mechanisms for real-time interpersonal coordination ». In : *Philosophical Transactions of the Royal Society B : Biological Sciences* 369.1658 (déc. 2014). Number : 1658. ISSN : 0962-8436. DOI : 10.1098/rstb.2013.0394. URL : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4240961/> (visité le 20/04/2021).
- [415] Elizabeth A. KENSINGER et Daniel L. SCHACTER. « Memory and emotion ». In : *Handbook of emotions, 3rd ed.* New York, NY, US : The Guilford Press, 2008, p. 601-617. ISBN : 978-1-59385-650-2.

- [416] Alexandra KERTZ-WELZEL. « The Singing Muse? Three Centuries of Music Education in Germany ». en. In : *Journal of Historical Research in Music Education* 26.1 (oct. 2004). Number : 1 Publisher : SAGE Publications Inc, p. 8-27. ISSN : 1536-6006. DOI : 10.1177/153660060402600104. URL : <https://doi.org/10.1177/153660060402600104> (visité le 09/04/2021).
- [417] Nouri KHALASS et al. « Musicality : A Game to Improve Musical Perception ». In : *Games and Learning Alliance : 7th International Conference, GALA 2018, Palermo, Italy, December 5–7, 2018, Proceedings* 7. Springer. 2019, p. 39-48.
- [418] Celeste KIDD et Benjamin Y HAYDEN. « The psychology and neuroscience of curiosity ». In : *Neuron* 88.3 (2015), p. 449-460.
- [419] Deniz Beste Çevik KILIC. « Examining Music Teachers' Self-Confidence Levels in Using Information and Communication Technologies for Education Based on Measurable Variables ». en. In : *Educational Research and Reviews* 12.3 (fév. 2017). Number : 3 Publisher : Academic Journals, p. 101-107. ISSN : 1990-3839. URL : <https://eric.ed.gov/?id=EJ1130308> (visité le 03/01/2022).
- [420] Rosemary N. KILLAM et Daniel W. SCOTT. *Listen and Learn : Varying Sound Sources' Effect on Ear-Training CAI, Using the Apple II Microcomputer*. en. Rapp. tech. ERIC Number : ED352947. Oct. 1981. URL : <https://eric.ed.gov/?id=ED352947> (visité le 10/01/2023).
- [421] Bokyeong KIM, Hyungsung PARK et Youngkyun BAEK. « Not just fun, but serious strategies : Using meta-cognitive strategies in game-based learning ». In : *Computers & Education* 52.4 (2009), p. 800-810.
- [422] Sophie KIPFER. *Trop de solfege... Encore?* consulte le 30 octobre 2023. 2011. URL : <https://conservatoires-de-france.com/>.
- [423] Zsuzsanna KIRALY. « Solfeggio 1 : A Vertical Ear Training Instruction Assisted by the Computer ». en. In : *International Journal of Music Education* 05-40.1 (mai 2003). Publisher : SAGE Publications Ltd, p. 41-58. ISSN : 0255-7614. DOI : 10.1177/025576140304000105. URL : <https://doi.org/10.1177/025576140304000105> (visité le 01/02/2023).
- [424] Susanna KIRÁLY. « Computer-aided Ear-training : A Contemporary Approach to Kodály's Music Educational Philosophy ». eng. In : (mai 2012). Accepted : 2012-05-02T05:23:56Z ISBN : 9789632390727 Publisher : Révai Digitális Kiadó. URL : <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/33048> (visité le 10/01/2023).

- [425] Susanna KIRÁLY. *Computer-aided Ear-training : A Contemporary Approach to Kodály's Music Educational Philosophy*. English. 1st edition. Books on Demand, juill. 2016.
- [426] Dina KIRNARSKAYA. *The natural musician : On abilities, giftedness, and talent*. Oxford University Press, 2009.
- [427] PAUL KIRSCHNER et JJG VAN MERRIËNBOER. *Ten steps to complex learning*. 2013.
- [428] Paul A KIRSCHNER, John SWELLER et Richard E CLARK. « Why minimal guidance during instruction does not work : An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching ». In : *Educational psychologist* 41.2 (2006), p. 75-86.
- [429] Edward KLONOSKI. « Improving Dictation as an Aural-Skills Instructional Tool ». en. In : *Music Educators Journal* 93.1 (sept. 2006). Number : 1 Publisher : SAGE Publications Inc, p. 54-59. issn : 0027-4321. doi : 10 . 1177 / 002743210609300124. url : <https://doi.org/10.1177/002743210609300124> (visité le 21/05/2021).
- [430] Edward KLONOSKI. « Teaching pitch internalization processes. » In : *Journal of Music Theory Pedagogy* 12 (1998), p. 81-96.
- [431] Melissa Gerber KNECHT. « Music expertise and memory : the relationship between music expertise and memory of music patterns, within various degrees of contextual constraint ». In : *Music Education Research* 5.3 (nov. 2003). Publisher : Routledge \_eprint : <https://doi.org/10.1080/1461380032000126328>, p. 227-242. issn : 1461-3808. doi : 10 . 1080 / 1461380032000126328. url : <https://doi.org/10.1080/1461380032000126328> (visité le 22/02/2022).
- [432] Malcolm S KNOWLES. « Self-directed learning : A guide for learners and teachers. » In : (1975).
- [433] Donald Ervin KNUTH. « Finite semifields and projective planes ». Thèse de doct. California Institute of Technology, 1963.
- [434] Matthew KOEHLER et Punya MISHRA. « What is Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)? » en. In : *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education* 9.1 (mars 2009). Publisher : Society for Information Technology & Teacher Education, p. 60-70. issn : 1528-5804. url : <https://www.learntechlib.org/primary/p/29544/> (visité le 19/01/2022).
- [435] Stefan KOELSCH. « Toward a Neural Basis of Music Perception – A Review and Updated Model ». In : *Frontiers in Psychology* 2 (2011). issn : 1664-1078. url : <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2011.00110> (visité le 14/02/2022).

- [436] Stefan KOELSCH, Peter VUUST et Karl FRISTON. « Predictive processes and the peculiar case of music ». In : *Trends in cognitive sciences* 23.1 (2019), p. 63-77.
- [437] Roger KOENIG-ROBERT et Joel PEARSON. « Why do imagery and perception look and feel so different? » In : *Philosophical Transactions of the Royal Society B : Biological Sciences* 376.1817 (fév. 2021). Publisher : Royal Society, p. 20190703. DOI : 10.1098/rstb.2019.0703. URL : <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rstb.2019.0703> (visité le 16/03/2022).
- [438] David A KOLB. *Experiential learning : Experience as the source of learning and development*. FT press, 1984.
- [439] Stella KONIK. « Music education software : an HCI evaluation of existing software and prototype implementation of an ear training programme based on a proposed approach ». Mém. de mast. University of Cape Town, 2003.
- [440] Lefteris KORDIS. « " Top Speed and in All Keys" : Charlie Banacos's Pedagogy of Jazz Improvisation ». Thèse de doct. New England Conservatory, 2012.
- [441] Stephen M KOSSLYN, Giorgio GANIS et William L THOMPSON. « Multimodal images in the brain ». In : *The neurophysiological foundations of mental and motor imagery* (2010), p. 3-16.
- [442] Jeanine KRATH, Linda SCHÜRMAN et Harald FO VON KORFLESCH. « Revealing the theoretical basis of gamification : A systematic review and analysis of theory in research on gamification, serious games and game-based learning ». In : *Computers in Human Behavior* 125 (2021), p. 106963.
- [443] Nina KRAUS et Bharath CHANDRASEKARAN. « Music training for the development of auditory skills ». en. In : *Nature Reviews Neuroscience* 11.8 (août 2010). Number : 8 Publisher : Nature Publishing Group, p. 599-605. ISSN : 1471-0048. DOI : 10.1038/nrn2882. URL : <https://www.nature.com/articles/nrn2882> (visité le 14/02/2022).
- [444] Carol L KRUMHANSL. *Cognitive foundations of musical pitch*. Oxford University Press, 2001.
- [445] Michael KUGLER. *Pratique : Orff*. 2012. URL : <https://www.orff.de/fr/orffr-schulwerk/pratique/> (visité le 16/09/2021).
- [446] Deanna KUHN. « The application of Piaget's theory of cognitive development to education ». In : *Harvard educational review* 49.3 (1979), p. 340-360.

- [447] William B KUHN. « A real-time pitch recognition algorithm for music applications ». In : *Computer Music Journal* 14.3 (1990), p. 60-71.
- [448] Wolfgang E. KUHN et Raynold ALLVIN. « Computer-Assisted Teaching : A New Approach to Research in Music ». In : *Bulletin of the Council for Research in Music Education* 11 (1967). Publisher : University of Illinois Press, p. 1-13. ISSN : 0010-9894. URL : <https://www.jstor.org/stable/40375348> (visité le 25/01/2022).
- [449] Agnes KUKULSKA-HULME et John TRAXLER. « Design principles for learning with mobile devices ». In : *Rethinking pedagogy for a digital age*. Routledge, 2019, p. 181-196.
- [450] Agnes KUKULSKA-HULME et al. « The genesis and development of mobile learning in Europe ». In : *Combining e-learning and m-learning : New applications of blended educational resources*. IGI Global, 2011, p. 151-177.
- [451] Sujit KUMAR BASAK, Marguerite WOTTO et Paul BÉLANGER. « E-learning, M-learning and D-learning : Conceptual definition and comparative analysis ». en. In : *E-Learning and Digital Media* 15.4 (juill. 2018). Publisher : SAGE Publications, p. 191-216. ISSN : 2042-7530. DOI : 10.1177/2042753018785180. URL : <https://doi.org/10.1177/2042753018785180> (visité le 19/10/2022).
- [452] Natalie KUZMICH. « Repetition, Suzuki, Minimalists and Zen ». en. In : *Canada Music Educator Journal* 49.3 (2008). Number : 3, p. 6-7. URL : <https://www.proquest.com/openview/bd4b12f418cbe0fcc214b0ef82413fc2/1?cb1=45770&pq-origsite=gscholar&accountid=62563> (visité le 13/10/2021).
- [453] Stella K`043ENIK. « Music education software : an HCI evaluation of existing software and prototype implementation of an ear training programme based on a proposed approach ». eng. Accepted : 2014-08-13T19 :31 :12Z. Thesis. University of Cape Town, 2003. URL : <http://repository.aust.edu.ng/xmlui/handle/11427/6408> (visité le 01/02/2023).
- [454] Fedwa LAAMARTI, Mohamad EID et Abdulmotaleb EL SADDIK. « An overview of serious games ». EN. In : *International Journal of Computer Games Technology* (jan. 2014). Publisher : Hindawi Limited PUB1800 London, UK, United Kingdom. DOI : 10.1155/2014/358152. URL : <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1155/2014/358152> (visité le 20/06/2022).
- [455] Samuli LAATO et al. « Higher education during lockdown : literature review and implications on technology design ». In : *Education Research International* 2022 (2022).

- [456] Cédric LAHEYNE. « Le processus de construction des inégalités dans l'apprentissage de la régulation émotionnelle en classe préparatoire littéraire ». In : *Revue française de pédagogie* (2020), p. 43-58.
- [457] Steven G. LAITZ. *The Complete Musician : An Integrated Approach to Tonal Theory, Analysis, and Listening*. Anglais. 3e édition. New York : OUP USA, juin 2011. ISBN : 978-0-19-974278-3.
- [458] Megan LAM. « The Physicality of Music Production : Investigating the Roles of Mindful Practice and Kinesthetic Learning ». en. In : *Music Educators Journal* 106.3 (mars 2020). Publisher : SAGE Publications Inc, p. 23-28. ISSN : 0027-4321. DOI : 10 . 1177 / 0027432119895553. URL : <https://doi.org/10.1177/0027432119895553> (visité le 23/02/2022).
- [459] Xavier LAMEYRE. *L'Imagerie mentale*. fr. Google-Books-ID : WK92DwAAQBAJ. FeniXX, jan. 1993. ISBN : 978-2-13-067018-6.
- [460] Alexandra LAMONT. « The beat goes on : Music education, identity and lifelong learning ». In : *Music Education Research* 13.4 (2011), p. 369-388.
- [461] H LAPIDUS. « Modalidades de Realimentación en Software de Asistencia al Aprendizaje de la Armonización de Melodías Tonales ». In : *Actas de EITI (Encuentro de Investigación sobre Tecnologías de Información aplicadas a la Solución de Problemas)*. Universidad Nacional de Colombia-Medellín, Universidad de Antioquia. Medellín (2002).
- [462] Lucie LARGE. « Redonner du sens au cours de formation musicale aujourd'hui, Diplôme d'état de professeur de musique ». Thèse de doct. CEFEDM-AURA Lyon, 2017.
- [463] Bettina LAUGWITZ, Theo HELD et Martin SCHREPP. « Construction and evaluation of a user experience questionnaire ». In : *HCI and Usability for Education and Work : 4th Symposium of the Workgroup Human-Computer Interaction and Usability Engineering of the Austrian Computer Society, USAB 2008, Graz, Austria, November 20-21, 2008. Proceedings 4*. Springer. 2008, p. 63-76.
- [464] Lily N. C. LAW et Marcel ZENTNER. « Assessing Musical Abilities Objectively : Construction and Validation of the Profile of Music Perception Skills ». en. In : *PLOS ONE* 7.12 (déc. 2012). Number : 12 Publisher : Public Library of Science, e52508. ISSN : 1932-6203. DOI : 10.1371/journal.pone.0052508. URL : <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0052508> (visité le 11/04/2021).

- [465] B. LECHEVALIER et C. HABAS. « Mémoire procédurale et mémoire déclarative ». fr. In : *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine* 205.2 (2021), p. 149-153. ISSN : 0001-4079. DOI : 10 . 1016 / j . banm . 2020 . 12 . 011. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001407920306178> (visité le 22/02/2022).
- [466] Eunhye LEE. « EVALUATING CHILDREN'S MUSIC APPS FOR 21st-CENTURY LEARNING : AN APPLIED ASSESSMENT ANALYSIS OF 100 APPS ». Thèse de doct. San Francisco State University, 2021.
- [467] Andreas C. LEHMANN, John A. SLOBODA et Robert H. WOODY. « Reading or Listening and Remembering ». eng. In : *Psychology for Musicians*. New York : Oxford University Press, 2007. ISBN : 978-0-19-514610-3. DOI : 10 . 1093 / acprof : oso / 9780195146103 . 003 . 0006. URL : <https://oxford.universitypressscholarship.com/10.1093/acprof:oso/9780195146103.001.0001/acprof-9780195146103-chapter-6> (visité le 22/02/2022).
- [468] Fred LERDAHL et Ray S JACKENDOFF. *A Generative Theory of Tonal Music, reissue, with a new preface*. MIT press, 1996.
- [469] Juan Alfonso LESCANO CONTADOR. « El impacto de las TIC en la formación de los estudiantes de los cursos de Lectura Musical y Entrenamiento Auditivo en una escuela de música en Lima (2009-2020) ». Mém. de mast. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), 2020.
- [470] Andrew J LESSER. « An investigation of digital game-based learning software in the elementary general music classroom ». In : *Journal of Sound and Music in Games* 1.2 (2020), p. 1-24.
- [471] Sophie-Anne LETERRIER. « Musique populaire et musique savante au XIXe siècle. Du "peuple" au "public" ». fr. In : *Revue d'histoire du XIXe siècle. Société d'histoire de la révolution de 1848 et des révolutions du XIXe siècle* 19 (déc. 1999). Number : 19 Publisher : Société d'histoire de la révolution de 1848, p. 89-103. ISSN : 1265-1354. DOI : 10 . 4000 / rh19 . 157. URL : <http://journals.openedition.org/rh19/157> (visité le 09/04/2021).
- [472] Kenneth LEVY. « On the origin of neumes ». en. In : *Early Music History* 7 (oct. 1987). Publisher : Cambridge University Press, p. 59-90. ISSN : 1474-0559, 0261-1279. DOI : 10 . 1017 / S0261127900000541. URL : <https://www.cambridge.org/core/journals/early-music-history/article/on-the-origin-of-neumes/189CE3A9DB80962F93741EFC8CBF5405> (visité le 17/02/2022).



- [473] Judy LEWIS et Andrea MAAS. *Music Education on the Verge : Stories of Pandemic Teaching and Transformative Change*. en. Google-Books-ID : bRJ\_EAAAQBAJ. Rowman & Littlefield, août 2022. ISBN : 978-1-79365-414-4.
- [474] Yangwenxiu LI. « Connectivism as a Framework for Informal Learning in Music Education : a Literature Review Study ». Thèse de doct. Carnegie Mellon University, 2023.
- [475] Yuan LI. « Interactive methods for improving musical literacy among students with preschool education Majors at Teacher Training Universities : The effectiveness of the Kodály method ». In : *Education and Information Technologies* 28.10 (2023), p. 12807-12821.
- [476] Jue LIAN. « Optimization of music teaching management system for college students based on similarity distribution method ». In : *Mathematical Problems in Engineering* 2022 (2022), p. 1-11.
- [477] Magnus LIEBHERR et al. « Smartphones and attention, curse or blessing? - A review on the effects of smartphone usage on attention, inhibition, and working memory ». en. In : *Computers in Human Behavior Reports* 1 (jan. 2020), p. 100005. ISSN : 2451-9588. DOI : 10.1016/j.chbr.2020.100005. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2451958820300051> (visité le 27/10/2022).
- [478] Catherine LIÉGEOIS-CHAUVEL, Virginie LAGUITTON et Patrick CHAUVEL. 3. *Le traitement musical au niveau du cortex auditif*. fr. Bibliographie\_available : 1 Cairndomain : [www.cairn.info](http://www.cairn.info) Cite Par\_available : 0 ISSN : 0779-9179 Pages : 47-64 Publication Title : Le cerveau musicien. De Boeck Supérieur, 2010. ISBN : 978-2-8041-6280-1. URL : <https://www.cairn.info/le-cerveau-musicien--9782804162801-page-47.htm> (visité le 22/02/2022).
- [479] Liesa Marie LIER et Christopher BREUER. « The motivating power of gamification : Does the inclusion of game elements increase the effectiveness of worksite health promotion programs? » In : *International Journal of Workplace Health Management* 13.1 (2020), p. 1-15.
- [480] Petra LIETZ. « Research into questionnaire design : A summary of the literature ». In : *International journal of market research* 52.2 (2010), p. 249-272.
- [481] Kenneth YT LIM, Kim Mai TRUONG et Yuxuan WU. « Melody mystery : Learning music theory through escape room puzzles ». In : *Education Sciences* 13.5 (2023), p. 491.

- [482] Yuanguo LIN et al. « Adaptive course recommendation in MOOCs ». en. In : *Knowledge-Based Systems* 224 (juill. 2021), p. 107085. ISSN : 0950-7051. DOI : 10.1016/j.knosys.2021.107085. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950705121003488> (visité le 18/10/2022).
- [483] Ziyong LIN et al. « Assessing Music ExpertiseThe Berlin Gehoerbildung Scale ». en. In : *Music Perception* 38.4 (avr. 2021). Publisher : University of California Press, p. 406-421. ISSN : 0730-7829. DOI : 10.1525/mp.2021.38.4.406. URL : <https://online.ucpress.edu/mp/article/38/4/406/116703/Assessing-Music-ExpertiseThe-Berlin-Gehoerbildung> (visité le 24/08/2022).
- [484] Mike LITTLE et Matt MULLENWEG. <https://wordpress.org/documentation/2003>.
- [485] Chenchen LIU et al. « A WSQ-based mobile peer assessment approach to enhancing university students' vocal music skills and learning perceptions ». In : *Australasian Journal of Educational Technology* (juill. 2021), p. 1-17. DOI : 10.14742/ajet.6832.
- [486] Chenchen LIU et al. « Research advancement and foci of mobile technology-supported music education : a systematic review and social network analysis on 2008-2019 academic publications ». In : *Interactive Learning Environments* 0.0 (sept. 2021). Publisher : Routledge \_eprint : <https://doi.org/10.1080/10494820.2021.1974890>, p. 1-20. ISSN : 1049-4820. DOI : 10.1080/10494820.2021.1974890. URL : <https://doi.org/10.1080/10494820.2021.1974890> (visité le 12/12/2022).
- [487] Chenchen LIU et al. « Research advancement and foci of mobile technology-supported music education : a systematic review and social network analysis on 2008-2019 academic publications ». In : *Interactive Learning Environments* 0.0 (sept. 2021). Publisher : Routledge \_eprint : <https://doi.org/10.1080/10494820.2021.1974890>, p. 1-20. ISSN : 1049-4820. DOI : 10.1080/10494820.2021.1974890. URL : <https://doi.org/10.1080/10494820.2021.1974890> (visité le 26/04/2023).
- [488] Mina LIU. « Research on the application value of Orff music education system in college music education based on computer new media technology ». In : *Journal of Physics : Conference Series*. T. 1992. 3. IOP Publishing. 2021.
- [489] Jason M LODGE et William J HARRISON. « Focus : Attention science : The role of attention in learning in the digital age ». In : *The Yale journal of biology and medicine* 92.1 (2019), p. 21.

- [490] George LOEWENSTEIN. « The psychology of curiosity : A review and reinterpretation. » In : *Psychological bulletin* 116.1 (1994), p. 75.
- [491] Yonatan LOEWENSTEIN, Ofri RAVIV et Merav AHISSAR. « Dissecting the roles of supervised and unsupervised learning in perceptual discrimination judgments ». In : *Journal of Neuroscience* 41.4 (2021), p. 757-765.
- [492] Christian LOH. « Mona listen : A web-based ear training module for musical pitch discrimination of melodic intervals ». In : *E-Learn : World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education*. Association for the Advancement of Computing in Education (AACE). 2004, p. 2026-2032.
- [493] Justin LONDON. *Hearing in Time : Psychological Aspects of Musical Meter*. en\_US. Publication Title : Hearing in Time. Oxford University Press, avr. 2021. ISBN : 978-0-19-978676-3. URL : <https://oxford.universitypressscholarship.com/view/10.1093/acprof:oso/9780195160819.001.0001/acprof-9780195160819> (visité le 20/04/2021).
- [494] Theunis Gabriël Louw. « A historic overview of oriental solmisation systems followed by an inquiry into the current use of solmisation in aural training at South African universities ». en. Accepted : 2010-11-04T09:30:36Z. Thesis. Stellenbosch : University of Stellenbosch, déc. 2010. URL : <https://scholar.sun.ac.za:443/handle/10019.1/5143> (visité le 08/04/2021).
- [495] Renae LOW et John SWELLER. « The modality principle in multimedia learning ». In : *The Cambridge handbook of multimedia learning* 147 (2005), p. 158.
- [496] H. LOWERY. « The Musical Ear ». In : *The Musical Times* 77.1115 (1936). Number : 1115 Publisher : Musical Times Publications Ltd., p. 56-57. ISSN : 0027-4666. DOI : 10.2307/919128. URL : <http://www.jstor.org/stable/919128> (visité le 29/04/2021).
- [497] ICB-InterConsult Bulgaria LTD. « The Musicators Ear Training Programme : a Case Study / Programul de educație auditivă Musicators : studiu de caz ». English. In : *Tehnologii informatice și de comunicații &#238;n domeniul muzical XII.2* (2021). Publisher : MediaMusica, p. 45-52. ISSN : 2067-9408. URL : <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=1004057> (visité le 31/01/2023).
- [498] Hui LUAN et Chin-Chung TSAI. « A Review of Using Machine Learning Approaches for Precision Education ». In : *Educational Technology & Society* 24.1 (2021). Publisher : International Forum of Educational Technology

- & Society, p. 250-266. ISSN : 1176-3647. URL : <https://www.jstor.org/stable/26977871> (visité le 24/10/2022).
- [499] John R. LUCE. « Sight-Reading and Ear-Playing Abilities as Related to Instrumental Music Students ». en. In : *Journal of Research in Music Education* 13.2 (juill. 1965). Number : 2, p. 101-109. ISSN : 0022-4294, 1945-0095. DOI : 10.2307/3344447. URL : <http://journals.sagepub.com/doi/10.2307/3344447> (visité le 30/04/2021).
- [500] Maria Giovanna LUCIANI, Alessandra CORTELAZZO et Alice Mado PROVERBIO. « The role of auditory feedback in the motor learning of music in experienced and novice performers ». In : *Scientific Reports* 12.1 (2022), p. 19822.
- [501] Luca LUDOVICO et Davide MAURO. « A Web Prototype to Teach Music and Computational Thinking Through Building Blocks ». In : sept. 2019, p. 227-230. ISBN : 978-1-4503-7297-8. DOI : 10.1145/3356590.3356625.
- [502] Robert A. LUTFI, Ching-Ju LIU et Christophe N. J. STOELINGA. « Auditory discrimination of force of impact ». In : *The Journal of the Acoustical Society of America* 129.4 (avr. 2011), p. 2104-2111. ISSN : 0001-4966. DOI : 10.1121/1.3543969. URL : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3097070/> (visité le 03/02/2022).
- [503] Marion LUYAT. *La perception*. fr. Google-Books-ID : Bqo9AwAAQBAJ. Dunod, avr. 2014. ISBN : 978-2-10-071185-7.
- [504] James LYON. *Pestalozzi et la musique*. fr. Editions Publibook, sept. 2014. ISBN : 978-2-342-02825-6.
- [505] Abdelsalam M. MAATUK et al. « The COVID-19 pandemic and E-learning : challenges and opportunities from the perspective of students and instructors ». en. In : *Journal of Computing in Higher Education* 34.1 (avr. 2022), p. 21-38. ISSN : 1867-1233. DOI : 10.1007/s12528-021-09274-2. URL : <https://doi.org/10.1007/s12528-021-09274-2> (visité le 21/10/2022).
- [506] Tadhg MACINTYRE et al. « An emerging paradigm : a strength-based approach to exploring mental imagery ». In : *Frontiers in Human Neuroscience* 7 (2013). ISSN : 1662-5161. URL : <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnhum.2013.00104> (visité le 15/03/2022).
- [507] Clifford MADSEN. « Music education : A future I would welcome ». In : *College Music Symposium*. T. 40. JSTOR. 2000, p. 84-90.
- [508] Clifford K MADSEN. « Music lessons and books as reinforcement alternatives for an academic task ». In : *Journal of Research in Music Education* 29.2 (1981), p. 103-110.

- [509] MAKEMUSIC. *SmartMusic Features and Tools*. en-US. URL : <https://www.smartmusic.com/features/> (visité le 21/01/2022).
- [510] Brenda Munsey MAPEL. « Philosophical criticism of behaviorism : An analysis ». In : *Behaviorism* 5.1 (1977), p. 17-32.
- [511] Segalerba MARIA GUADALUPE. « Le langage qui explicite la musique : une stratégie pour l'apprentissage de la notation des mélodies ». In : *Journal de Recherche en Education Musicale* (2005).
- [512] Stefano MARINO. « Improvisation in Pop-Rock Music ». In : *The Routledge Handbook of Philosophy and Improvisation in the Arts*. Num Pages : 15. Routledge, 2021. ISBN : 978-1-00-317944-3.
- [513] Michael L MARK. « Music education since mid-century : The role of the Music Educators National Conference ». In : *Journal of Aesthetic Education* 33.3 (1999), p. 79-92.
- [514] David F. MARKS. « Visual Imagery Differences in the Recall of Pictures ». en. In : *British Journal of Psychology* 64.1 (1973). \_eprint : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.2044-8295.1973.tb01322.x>, p. 17-24. ISSN : 2044-8295. DOI : 10.1111/j.2044-8295.1973.tb01322.x URL : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.2044-8295.1973.tb01322.x> (visité le 15/03/2022).
- [515] Lisa MARSHALL et al. « Boosting slow oscillations during sleep potentiates memory ». In : *Nature* 444.7119 (2006), p. 610-613.
- [516] MARTENOT MAURICE. *Principes fondamentaux de formation musicale et leur application : méthode Martenot : guide du professeur / Maurice Martenot*. fre. Clichy : Editions de l'Île bleue, 2010. ISBN : 978-2-917992-00-5.
- [517] Sylvaine MARTIN DE GUISE. « Enseignement à distance de la musique ou l'e-learning musical ». In : *Intersections : Canadian Journal of Music/Revue canadienne de musique* (2009). Publisher : Canadian University Music Society / Société de musique des universités canadiennes. URL : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02956347> (visité le 29/01/2022).
- [518] Alberto MARTÍN-MARTÍN et al. « Google Scholar, Microsoft Academic, Scopus, Dimensions, Web of Science, and OpenCitations' COCI : a multi-disciplinary comparison of coverage via citations ». en. In : *Scientometrics* 126.1 (jan. 2021), p. 871-906. ISSN : 1588-2861. DOI : 10.1007/s11192-020-03690-4. URL : <https://doi.org/10.1007/s11192-020-03690-4> (visité le 12/12/2022).

- [519] Alberto MARTÍN-MARTÍN et al. « Google Scholar, Web of Science, and Scopus : A systematic comparison of citations in 252 subject categories ». en. In : *Journal of Informetrics* 12.4 (nov. 2018), p. 1160-1177. ISSN : 1751-1577. DOI : 10.1016/j.joi.2018.09.002. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751157718303249> (visité le 12/12/2022).
- [520] Michael F MASCOLO, Kurt W FISCHER et KW FISCHER. « Constructivist theories ». In : *Cambridge encyclopedia of child development* (2005), p. 49-63.
- [521] Lowell MASON. « Boston Academy of Music ». In : *Manual of the Boston Academy of Music, for Instruction in* (1838).
- [522] Louise MATHIEU. « Un regard actuel sur la Rythmique Jaques-Dalcroze ». In : *Recherche en éducation musicale* 28.12 (2010), p. 17-27.
- [523] Richard E MAYER. *The Cambridge handbook of multimedia learning*. Cambridge university press, 2005.
- [524] Richard E MAYER, Jocelyn PARONG et Kaitlin BAINBRIDGE. « Young adults learning executive function skills by playing focused video games ». In : *Cognitive Development* 49 (2019), p. 43-50.
- [525] Richard E. MAYER. « The promise of multimedia learning : using the same instructional design methods across different media ». en. In : *Learning and Instruction*. External and Internal Representations in Multimedia Learning 13.2 (avr. 2003). Number : 2, p. 125-139. ISSN : 0959-4752. DOI : 10.1016/S0959-4752(02)00016-6. URL : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959475202000166> (visité le 01/02/2021).
- [526] Manuel MAZZARA et al. « Education after COVID-19 ». In : *Smart and sustainable technology for resilient cities and communities*. Springer, 2022, p. 193-207.
- [527] Stephen McADAMS. « Timbre as a Structuring Force in Music ». en. In : *Timbre : Acoustics, Perception, and Cognition*. Sous la dir. de Kai SIEDENBURG et al. Cham : Springer International Publishing, 2019, p. 211-243. ISBN : 978-3-030-14832-4. DOI : 10.1007/978-3-030-14832-4\_8. URL : [https://doi.org/10.1007/978-3-030-14832-4\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-14832-4_8) (visité le 29/03/2022).
- [528] Stephen McADAMS et Bruno L GIORDANO. « The perception of musical timbre ». In : (2014).
- [529] Stephen McADAMS et al. « Perceptual scaling of synthesized musical timbres : Common dimensions, specificities, and latent subject classes ». en. In : *Psychological Research* 58.3 (déc. 1995), p. 177-192. ISSN : 1430-2772. DOI : 10.1007/BF00419633. URL : <https://doi.org/10.1007/BF00419633> (visité le 29/03/2022).

- [530] David P McCABE et al. « The relationship between working memory capacity and executive functioning : evidence for a common executive attention construct. » In : *Neuropsychology* 24.2 (2010), p. 222.
- [531] John McCORMICK et Gary McPHERSON. « The role of self-efficacy in a musical performance examination : An exploratory structural equation analysis ». In : *Psychology of Music* 31.1 (2003), p. 37-51.
- [532] Brandon McDANIEL. « A Computer Application for Beat Detection Training and Intonation Performance Assessment - University of Georgia ». Thèse de doct. University of Georgia, 2020. URL : <https://exploro.lib.uga.edu/exploro/outputs/doctoral/A-Computer-Application-for-Beat-Detection-Training-and-Intonation-Performance-Assessment/9949365740302959> (visité le 10/01/2023).
- [533] Ian McKINNON. « Children's music journey : the development of an interactive software solution for early childhood music education ». In : *Computers in Entertainment (CIE)* 3.4 (2005), p. 1-10.
- [534] Neil McLACHLAN. « A neurocognitive model of recognition and pitch segregation ». In : *The Journal of the Acoustical Society of America* 130.5 (nov. 2011). Publisher : Acoustical Society of America, p. 2845-2854. ISSN : 0001-4966. DOI : 10.1121/1.3643082. URL : <https://asa.scitation.org/doi/full/10.1121/1.3643082> (visité le 14/06/2022).
- [535] Alison Fiona McNEIL. « Aural skills and the performing musician : function, training and assessment ». en. doctoral. University of Huddersfield, juill. 2000. URL : <http://eprints.hud.ac.uk/id/eprint/4749/> (visité le 30/04/2021).
- [536] Alison Fiona McNEIL. « Aural skills and the performing musician : function, training and assessment ». en. doctoral. University of Huddersfield, juill. 2000. URL : <http://eprints.hud.ac.uk/id/eprint/4749/> (visité le 21/05/2021).
- [537] Gary McPHERSON. « Evaluating Improvisational Ability of High School Instrumentalists ». In : *Bulletin of the Council for Research in Music Education* 119 (1993). Number : 119 Publisher : University of Illinois Press, p. 11-20. ISSN : 0010-9894. URL : <https://www.jstor.org/stable/40318607> (visité le 30/04/2021).
- [538] Gary E McPHERSON et John McCORMICK. « Self-efficacy and music performance ». In : *Psychology of music* 34.3 (2006), p. 322-336.

- [539] Gary E. McPHERSON, Jane W. DAVIDSON et Robert FAULKNER. « Music in our lives : a developmental explanation ». eng. In : *Music In Our Lives : Rethinking Musical Ability, Development, and Identity*. Oxford : Oxford University Press, 2012. ISBN : 978-0-19-957929-7. DOI : 10.1093/acprof:oso/9780199579297.003.0052. URL : <https://oxford.universitypressscholarship.com/10.1093/acprof:oso/9780199579297.001.0001/acprof-9780199579297-chapter-011> (visité le 14/01/2022).
- [540] Gary E. McPHERSON et Alf GABRIELSSON. « From Sound to Sign ». eng. In : *The Science & Psychology of Music Performance*. New York : Oxford University Press, 2002. ISBN : 978-0-19-513810-8. DOI : 10.1093/acprof:oso/9780195138108.003.0007. URL : <https://oxford.universitypressscholarship.com/10.1093/acprof:oso/9780195138108.001.0001/acprof-9780195138108-chapter-7> (visité le 21/02/2022).
- [541] A. MEAVE et F. ORDUÑA. « [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1664232012000100001&lng=es&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1664232012000100001&lng=es&nrm=iso&tlng=en) ». In : *Journal of applied research and technology* 10.1 (fév. 2012), p. 05-13. ISSN : 1665-6423. URL : [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1665-64232012000100001&lng=es&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1665-64232012000100001&lng=es&nrm=iso&tlng=en) (visité le 01/02/2023).
- [542] Samuel A. MEHR et al. « Universality and diversity in human song ». In : *Science* 366.6468 (nov. 2019). Publisher : American Association for the Advancement of Science, eaax0868. DOI : 10.1126/science.aax0868. URL : <https://www.science.org/doi/full/10.1126/science.aax0868> (visité le 26/03/2022).
- [543] Elsa Aniela MENDEZ REGUERA et Mildred LOPEZ. « Using a digital whiteboard for student engagement in distance education ». en. In : *Computers & Electrical Engineering* 93 (juill. 2021), p. 107268. ISSN : 0045-7906. DOI : 10.1016/j.compeleceng.2021.107268. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045790621002512> (visité le 22/10/2022).
- [544] Gloria Valencia MENDOZA. « El legado de Wdgar Willems a la educación musical de hoy. Herencia de Edgar Willems, pedagogo del siglo XX, a la pedagogía musical del siglo XXI ». es;en. In : *Ricercare* 4 (déc. 2015). Number : 4, p. 46-52. ISSN : 2346-4747. DOI : 10.17230/ricercare.2015.4.5. URL : <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/ricercare/article/view/3332> (visité le 12/09/2021).
- [545] MERRIAM-WEBSTER. *Optimization*. Merriam-Webster, 2024.



- [546] Leonard B. MEYER. *Style and Music : Theory, History, and Ideology*. en. Google-Books-ID : X44\_zSrh0nYC. University of Chicago Press, 1996. ISBN : 978-0-226-52152-7.
- [547] Jean-Pierre MIALARET. *Apprentissage Musical et Enseignement Programé*. Editions du CNRS, 1979.
- [548] Jean-Pierre MIALARET. « Recherches francophones en sciences de l'éducation musicale ». In : *Vibrations. Musiques, médias, société* 6.1 (1988), p. 273-293.
- [549] *Middle level Kodály-based music reading and ear training curriculum for the smart board - ProQuest*. fr. URL : <https://www.proquest.com/openview/efc023e737260a04d313eb91e5511627/1?cb1=18750&pq-origsite=gscholar&parentSessionId=hP09UPM3H1%2FWtrTIq5SdqgdzbrIXCOKi2aZuVxH%2FgP8%3D> (visité le 31/01/2023).
- [550] Samuel D. MILLER. « Guido D'Arezzo : Medieval Musician and Educator ». en. In : *Journal of Research in Music Education* 21.3 (oct. 1973). Number : 3, p. 239-245. ISSN : 0022-4294, 1945-0095. DOI : 10.2307/3345093. URL : <http://journals.sagepub.com/doi/10.2307/3345093> (visité le 08/04/2021).
- [551] Laurent MIROUDOT. « Apprendre les structures psychologiques ou favoriser leur construction? Elements de réponse de la psychologie de la musique ». In : *Journal de Recherche en Education Musicale* (2003).
- [552] Jennifer MISHRA. « Factors Related to Sight-Reading Accuracy : A Meta-Analysis ». en. In : *Journal of Research in Music Education* 61.4 (jan. 2014). Publisher : SAGE Publications Inc, p. 452-465. ISSN : 0022-4294. DOI : 10.1177/0022429413508585. URL : <https://doi.org/10.1177/0022429413508585> (visité le 22/02/2022).
- [553] Punya MISHRA et Matthew J. KOEHLER. « Technological pedagogical content knowledge : A framework for teacher knowledge ». In : *Teachers College Record* 108.6 (juin 2006), p. 1017-1054. ISSN : 0161-4681. DOI : 10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x. URL : <http://www.scopus.com/inward/record.url?scp=33744758928&partnerID=8YFLogxK> (visité le 19/01/2022).
- [554] Nicole L. MOLUMBY. « An iPad Masterclass : Mobile Technology in a University Aural Skills Class ». In : *College Music Symposium* 54 (2014). Publisher : College Music Society. ISSN : 0069-5696. URL : <https://www.jstor.org/stable/26574362> (visité le 07/12/2021).
- [555] Maria MONTESSORI. *The montessori method*. Transaction publishers, 2013.

- [556] Robin MOORE. « The Decline of Improvisation in Western Art Music : An Interpretation of Change ». In : *International Review of the Aesthetics and Sociology of Music* 23.1 (1992). Publisher : Croatian Musicological Society, p. 61-84. ISSN : 0351-5796. DOI : 10.2307/836956. URL : <https://www.jstor.org/stable/836956> (visité le 21/02/2022).
- [557] Aidan P. MORAN et al. « Mental imagery, action observation and skill learning ». en. In : Accepted : 2013-05-13T14:41:26Z. Routledge (Taylor et Francis), juin 2012. ISBN : 978-0-415-60786-5. URL : <https://researchrepository.ucd.ie/handle/10197/4311> (visité le 15/03/2022).
- [558] Neville MORAY. « The good, the bad, and the future : On the archaeology of ergonomics ». In : *Human factors* 50.3 (2008), p. 411-417.
- [559] Bruce E. MORE. « Sight Singing and Ear Training at the University Level : A Case for the Use of Kodaly's System of Relative Solmization ». In : *The Choral Journal* 25.7 (1985). Number : 7 Publisher : American Choral Directors Association, p. 9-22. ISSN : 0009-5028. URL : <https://www.jstor.org/stable/23546849> (visité le 11/09/2021).
- [560] Fabian Moss. « Book Review : David HURON. Voice Leading : The Science behind a Musical Art. » In : *Music Analysis* 4 (juin 2017).
- [561] Aline MOUSSARD, Françoise ROCHETTE et Emmanuel BIGAND. « La musique comme outil de stimulation cognitive ». fr. In : *L'Année psychologique* Vol. 112.3 (2012). Number : 3 Publisher : NecPlus, p. 499-542. ISSN : 0003-5033. URL : <https://www.cairn.info/revue-l-annee-psychologique1-2012-3-page-499.htm> (visité le 11/06/2021).
- [562] Gaspard MUCUNDANYI et Xeturah WOODLEY. « Exploring Free Digital Tools in Education ». en. In : *International Journal of Education and Development using Information and Communication Technology* 17.2 (2021). ERIC Number : EJ1297885, p. 96-103. URL : <https://eric.ed.gov/?id=EJ1297885> (visité le 22/10/2022).
- [563] Daniel MÜLLENSIEFEN et al. « The Musicality of Non-Musicians : An Index for Assessing Musical Sophistication in the General Population ». en. In : *PLOS ONE* 9.2 (fév. 2014). Number : 2 Publisher : Public Library of Science, e89642. ISSN : 1932-6203. DOI : 10.1371/journal.pone.0089642. URL : <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0089642> (visité le 14/05/2021).
- [564] Adolf MURILLO, María ELENA RIAÑO et Jesús TEJADA. « Aglaya Play : Designing a software solution for group compositions in the music classroom ». In : *Journal of Music, Technology & Education* 13.2-3 (2020), p. 239-261.

- [565] Ann Marie Musco. « Playing by Ear : Is Expert Opinion Supported by Research? » In : *Bulletin of the Council for Research in Music Education* 184 (2010). Number : 184 Publisher : University of Illinois Press, p. 49-64. ISSN : 0010-9894. URL : <https://www.jstor.org/stable/27861482> (visité le 14/05/2021).
- [566] *Music Learning and Technology*. en-US. URL : <http://www.newdirectionsmsu.org/issue-1/bauer-music-learning-and-technology/> (visité le 19/01/2022).
- [567] The Gordon Institute for MUSIC LEARNINT. *Audiation – GIML*. en-US. URL : <https://giml.org/mlt/audiation/> (visité le 17/03/2022).
- [568] MUSICALITY. *The Cambridge English Dictionary*. Cambridge University Press, 2024.
- [569] Conservatoire National Supérieur de MUSIQUE ET DE DANSE DE PARIS. « Histoire du Conservatoire de Paris ». In : *Conservatoire National Supérieur de Musique et de Danse de Paris* (2017). consulte le 24 octobre 2023. URL : <https://www.conservatoiredeparis.fr/fr/ecole/le-conservatoire/histoire>.
- [570] Orlando MUSUMECI. « The Cognitive Pedagogy of Aural Training ». In : Keele University, Staffordshire, England, 2000. URL : <https://www.escom.org/proceedings/ICMPC2000/poster1/Musumeci.htm> (visité le 21/05/2021).
- [571] MYRAPPs. *EarMaster - Ear Training, Sight-Singing and Music Theory App*. <https://www.earmaster.com/>. Accessed : 2024-04-20.
- [572] MYRAPPs. *MYEarTraining | Ear Training Apps, Excercises and Lessons*. <https://www.myeartraining.net/>. Accessed : 2024-04-20.
- [573] Shi NA. « Innovative Research on Solfeggio and Ear Training Teaching of Natural Artistic Conception Music ». In : *Forest Chemicals Review* (2021), p. 149-156.
- [574] Lennart E NACKE et Sebastian DETERDING. *The maturing of gamification research*. 2017.
- [575] Bence NANAY. « Mental Imagery ». In : *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Sous la dir. d'Edward N. ZALTA. Winter 2021. Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2021. URL : <https://plato.stanford.edu/archives/win2021/entries/mental-imagery/> (visité le 15/03/2022).
- [576] Davide NARDO et Susanne Maria REITERER. « Musicality and phonetic language aptitude ». In : *Language talent and brain activity* (2009), p. 213-256.

- [577] Archives NATIONALES. « Conservatoire de musique et de déclamation (Paris 1806-1946) ». In : *FranceArchives* (1946). consulte le 24 octobre 2023. URL : [https://francearchives.gouv.fr/fr/authorityrecord/FRAN\\_NP\\_051493](https://francearchives.gouv.fr/fr/authorityrecord/FRAN_NP_051493).
- [578] Nelida NEDELCUȚ et Ana-Maria DEMIAN. « The Musicators Ear Training Programme : a Case Study / Programul de educație auditivă Musicators : studiu de caz ». English. In : *Tehnologii informatice și de comunicații &#238;n domeniul muzical XII.2* (2021). Publisher : MediaMusica, p. 45-52. ISSN : 2067-9408. URL : <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=1004057> (visité le 10/01/2023).
- [579] Leah NELSON. « A Learning Machine : Plasticity and Change Throughout Life ». en-US. In : *APS Observer* 19.8 (août 2006). Number : 8. URL : <https://www.psychologicalscience.org/observer/a-learning-machine-plasticity-and-change-throughout-life> (visité le 23/10/2021).
- [580] S. C. NG, Andrew K. LUI et W. S. LO. « An Interactive Mobile Application for Learning Music Effectively ». en. In : *Knowledge Sharing through Technology*. Sous la dir. de Jeanne LAM et al. Communications in Computer and Information Science. Berlin, Heidelberg : Springer, 2013, p. 148-157. ISBN : 978-3-642-45272-7. DOI : 10.1007/978-3-642-45272-7\_14.
- [581] Brian NICHOLS. « The Effect of SmartMusic on Student Practice ». English. Thèse de doct. Kennesaw, Géorgie, Etats-Unis : Kennesaw State University, déc. 2014. URL : [https://digitalcommons.kennesaw.edu/teachleaddoc\\_etd/1](https://digitalcommons.kennesaw.edu/teachleaddoc_etd/1).
- [582] Hélène NICOLET. « L'éducation corporelle dans l'enseignement de la Rythmique. Parallèles entre les méthodes d'Emile Jaques-Dalcroze et de Rudolf Laban ». Français. Mémoire pour l'obtention du Diplôme supérieur. Genève : Institut Jaques-Dalcroze, 2013. URL : [https://www.dalcroze.ch/wp-content/uploads/2017/10/educationcorporelleenseignementrythmique\\_helenenicolet.pdf](https://www.dalcroze.ch/wp-content/uploads/2017/10/educationcorporelleenseignementrythmique_helenenicolet.pdf) (visité le 04/09/2021).
- [583] Ilkka NIINILUOTO. « The aim and structure of applied research ». In : *Erkenntnis* 38.1 (1993), p. 1-21.
- [584] David Hernández NIÑO, Tulio Echeverry SILVA et John Alexis GUERRA. « EAR un software de entrenamiento auditivo musical ». es. In : *Scientia et Technica* 1.37 (déc. 2007). Number : 37. ISSN : 2344-7214. DOI : 10.22517/23447214.4129. URL : <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/4129> (visité le 10/04/2021).
- [585] Karin K NOLAN. « SMARTer music teaching : Interactive whiteboard use in music classrooms ». In : *General Music Today* 22.2 (2009), p. 3-11.

- [586] Prénom NOM. *Titre du rapport technique*. Rapp. tech. Institution où le rapport a vu le jour, 2012.
- [587] Marije NOUWEN et al. « Designing an educational music game : What if children were calling the tune? » In : *International journal of child-computer interaction* 9 (2016), p. 20-32.
- [588] Mario Leoncio NÚÑEZ. « A comparison of aural and visual instructional methodologies designed to improve the intonation accuracy of seventh grade violin and viola instrumentalists. » en. In : (), p. 325.
- [589] Michael O'LEARY et al. « The state-of-the-art in digital technology-based assessment ». en. In : *European Journal of Education* 53.2 (2018). \_eprint : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/ejed.12271>, p. 160-175. ISSN : 1465-3435. DOI : 10.1111/ejed.12271. URL : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ejed.12271> (visité le 20/05/2023).
- [590] Susan A O'NEILL et Yaroslav SENYSHYN. « How learning theories shape our understanding of music learners ». In : *MENC handbook of research on music learning* 1 (2011), p. 3-34.
- [591] Robert Morris OGDEN. « The Gestalt psychology of learning ». In : *The Pedagogical Seminary and Journal of Genetic Psychology* 38.1-4 (1930), p. 280-287.
- [592] Pierre OLÉRON. « Introduction à l'enseignement programmé ». fre. In : *Enfance* 17.1 (1964). Publisher : Persée - Portail des revues scientifiques en SHS, p. 1-38. DOI : 10.3406/enfan.1964.2335. URL : [https://www.persee.fr/doc/enfan\\_0013-7545\\_1964\\_num\\_17\\_1\\_2335](https://www.persee.fr/doc/enfan_0013-7545_1964_num_17_1_2335) (visité le 24/01/2022).
- [593] Marco OLIVIERI et al. « JumpApp : an online didactic game for music training and education ». In : *2023 4th International Symposium on the Internet of Sounds*. IEEE. 2023, p. 1-7.
- [594] Andrea OLMSTEAD. *Juilliard : A History*. en. Google-Books-ID : YLQXRH-GNIQUC. University of Illinois Press, 1999. ISBN : 978-0-252-07106-5.
- [595] ONISEP. *La licence musicologie*. consulte le 30 octobre 2023. URL : [www.onisep.fr](http://www.onisep.fr).
- [596] *Online and face-to-face classroom multitasking and academic performance : Moderated mediation with self-efficacy for self-regulated learning and gender* - ScienceDirect. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S074756321930305X?via%3DiHub> (visité le 29/10/2022).

- [597] Brian ORDONA. « A System for Effective Ear Training ». In : *Proceedings of Student Research Day* (2003).
- [598] Evelyn K ORMAN. « Effect of interactive multimedia computing on young saxophonists' achievement and attitude ». In : *Journal of Research in Music Education* 46.1 (1998), p. 62-74.
- [599] Maryam A. AL-OTHMAN et al. « An Adaptive Educational Web Application for Engineering Students ». In : *IEEE Access* 5 (2017). Conference Name : IEEE Access, p. 359-365. ISSN : 2169-3536. DOI : 10.1109/ACCESS.2016.2643164.
- [600] Fan OUYANG et Pengcheng JIAO. « Artificial intelligence in education : The three paradigms ». en. In : *Computers and Education : Artificial Intelligence* 2 (jan. 2021), p. 100020. ISSN : 2666-920X. DOI : 10.1016/j.caeai.2021.100020. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666920X2100014X> (visité le 22/10/2022).
- [601] Ming OUYANG. « Employing Mobile Learning in Music Education ». en. In : *Education and Information Technologies* (oct. 2022). ISSN : 1573-7608. DOI : 10.1007/s10639-022-11353-5. URL : <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11353-5> (visité le 26/04/2023).
- [602] Sharon OVIATT. « Human-centered design meets cognitive load theory : designing interfaces that help people think ». In : *Proceedings of the 14th ACM international conference on Multimedia*. 2006, p. 871-880.
- [603] Pirkko PAANANEN et Mikko MYLLYKOSKI. « JamMo-Developmentally designed software for children's mobile music-making ». In : *ESCOM 2009 : 7th Triennial Conference of European Society for the Cognitive Sciences of Music*. 2009.
- [604] Fred PAAS et John SWELLER. « Implications of cognitive load theory for multimedia learning ». In : *The Cambridge handbook of multimedia learning* 27 (2014), p. 27-42.
- [605] Fred PAAS et al. « A motivational perspective on the relation between mental effort and performance : Optimizing learner involvement in instruction ». In : *Educational technology research and development* 53 (2005), p. 25-34.
- [606] Fred GWC PAAS et Jeroen JG VAN MERRIËNBOER. « Variability of worked examples and transfer of geometrical problem-solving skills : A cognitive-load approach. » In : *Journal of educational psychology* 86.1 (1994), p. 122.

- [607] Michael PABST-KRUEGER et al. *Perspectives for music education in schools after the pandemic A joint publication by authors of the network of Music Teacher Associations in Europe Perspectives for music education in schools after the pandemic A joint publication by authors of the network of Music Teacher Associations in Europe (MTA)*. Mars 2021. DOI : 10.13140/RG.2.2.13803.67369.
- [608] Norbert PACHLER, Ben BACHMAIR et John COOK. *Mobile learning : Structures, agency, practices*. Springer, 2009.
- [609] Matthew J. PAGE et al. « The PRISMA 2020 statement : an updated guideline for reporting systematic reviews ». In : *Systematic Reviews* 10.1 (mars 2021), p. 89. ISSN : 2046-4053. DOI : 10.1186/s13643-021-01626-4. URL : <https://doi.org/10.1186/s13643-021-01626-4> (visité le 12/12/2022).
- [610] Andrew S. PANEY. « Directing attention in melodic dictation ». eng. In : (mai 2007). Publisher : Texas Tech University. URL : <https://ttu-ir.tdl.org/handle/2346/16651> (visité le 30/04/2021).
- [611] Philharmonie de PARIS. *Enseignement supérieur de musique à l'université*. consulte le 30 octobre 2023. URL : <https://metiers.philharmoniedeparis.fr/>.
- [612] Anne PARK et al. « Question asking fosters curiosity and learning in children ». In : (2022).
- [613] Forrest W PARKAY et Glen HASS. *Curriculum planning : A contemporary approach*. Allyn et Bacon, 2000.
- [614] Larisa PARSHINA et Larisa KARPUSHINA. *Development of Students' Music Auditory Perceptions within Multimedia Technology-Based Solfeggio Training Course - ProQuest*. fr. URL : <https://www.proquest.com/openview/cd5b2bd2adbb193f7778107603463695/1?cb1=2045597&parentSessionId=VsrS0bb4NEeA5zpSfWSpVePAzHXn18bCQjZnj%2FtDqAQ%3D&pq-origsite=gscholar&parentSessionId=bWfZ%2BsniWo5P7FC%2FHK64DFtYUPs5q0%2FkhZYmR1n0jAQ%3D> (visité le 01/02/2023).
- [615] Shalini PARUTHI et al. « Consensus statement of the American Academy of Sleep Medicine on the recommended amount of sleep for healthy children : methodology and discussion ». In : *Journal of clinical sleep medicine* 12.11 (2016), p. 1549-1561.
- [616] Angela PASQUALOTTO et al. « Video game design for learning to learn ». In : *International Journal of Human-Computer Interaction* 39.11 (2023), p. 2211-2228.

- [617] MPuerto PAULE-RUIZ et al. « Music learning in preschool with mobile devices ». In : *Behaviour & Information Technology* 36.1 (2017), p. 95-111.
- [618] Lois PEAK. « The Suzuki Method of music instruction ». In : *Teaching and Learning in Japan*. Sous la dir. de Gerald K. LETENDRE et Thomas P. ROHLEN. Cambridge : Cambridge University Press, 1996, p. 345-368. ISBN : 978-0-521-49587-5. DOI : 10.1017/CB09781139174480.019. URL : <https://www.cambridge.org/core/books/teaching-and-learning-in-japan/suzuki-method-of-music-instruction/1465A5F6DD7066791450E7A889ECCC20> (visité le 13/10/2021).
- [619] Karsten PEDERSEN et al. « Spatialized audio in a custom-built OpenGL-based ear training virtual environment ». In : *IEEE Computer Graphics and Applications* 40.5 (2020), p. 67-81.
- [620] Randall G. PEMBROOK. « Some Implications of Students' Attitudes Toward a Computer-Based Melodic Dictation Program ». en. In : *Journal of Research in Music Education* 34.2 (juill. 1986). Publisher : SAGE Publications Inc, p. 121-133. ISSN : 0022-4294. DOI : 10.2307/3344740. URL : <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.2307/3344740> (visité le 10/01/2023).
- [621] Yajie PENG. « Design and Practice of Cloud Platform for Online Music Courses Based on the Mobile Internet Era ». en. In : *Journal of Physics : Conference Series* 1881.2 (avr. 2021). Publisher : IOP Publishing, p. 022096. ISSN : 1742-6596. DOI : 10.1088/1742-6596/1881/2/022096. URL : <https://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1881/2/022096> (visité le 10/01/2023).
- [622] Malinalli PERAL GARCIA et Francis DUBÉ. « Stratégies pédagogiques visant le développement des habiletés métacognitives du musicien en formation afin d'optimiser l'efficacité de ses pratiques instrumentales ». fr. In : *Revue musicale OICRM* 1.1 (2012). Number : 1 Publisher : OICRM, p. 74-89. ISSN : 2368-7061. DOI : <https://doi.org/10.7202/1055859ar>. URL : <https://www.erudit.org/fr/revues/rmo/2012-v1-n1-rmo04276/1055859ar/> (visité le 24/02/2021).
- [623] Isabelle PERETZ et Robert J. ZATORRE. « Brain organization for music processing ». eng. In : *Annual Review of Psychology* 56 (2005), p. 89-114. ISSN : 0066-4308. DOI : 10.1146/annurev.psych.56.091103.070225.
- [624] Manuel PÉREZ-GIL et al. « Cantus : Construction and evaluation of a software solution for real-time vocal music training and musical intonation assessment ». en. In : *Journal of Music, Technology & Education* 9.2 (juill. 2016). Publisher : Intellect, p. 125-144. ISSN : 1752-7066, 1752-7074. DOI :



- 10.1386/jmte.9.2.125\_1. URL : [https://intellectdiscover.com/content/journals/10.1386/jmte.9.2.125\\_1](https://intellectdiscover.com/content/journals/10.1386/jmte.9.2.125_1) (visité le 10/01/2023).
- [625] Leonid PERLOVSKY. « Origin of music and embodied cognition ». In : *Frontiers in Psychology* 6 (2015). ISSN : 1664-1078. URL : <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2015.00538> (visité le 05/02/2023).
- [626] Roland S PERSSON. « The elusive muse : Understanding musical giftedness ». In : *International handbook on giftedness* (2009), p. 727-749.
- [627] Matevž PESEK et al. « Enhancing music rhythmic perception and performance with a VR game ». In : (2023).
- [628] Matevž PESEK et al. « Motivating Students for Ear-Training with a Rhythmic Dictation Application ». en. In : *Applied Sciences* 10.19 (jan. 2020). Number : 19 Publisher : Multidisciplinary Digital Publishing Institute, p. 6781. ISSN : 2076-3417. DOI : 10.3390/app10196781. URL : <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/19/6781> (visité le 10/01/2023).
- [629] Matevž PESEK et al. « Motivating students for ear-training with a rhythmic dictation application ». In : *Applied Sciences* 10.19 (2020), p. 6781.
- [630] Matevž PESEK et al. « Troubadour : A Gamified e-Learning Platform for Ear Training ». In : *IEEE Access* 8 (2020). Conference Name : IEEE Access, p. 97090-97102. ISSN : 2169-3536. DOI : 10.1109/ACCESS.2020.2994389.
- [631] G. David PETERS. « Computer-Based Music Skills Assessment Project : A Portal to Artistic Innovation ». In : *Bulletin of the Council for Research in Music Education* 117 (1993). Publisher : University of Illinois Press, p. 38-45. ISSN : 0010-9894. URL : <https://www.jstor.org/stable/40318571> (visité le 27/01/2022).
- [632] G. David PETERS. « FEASIBILITY OF COMPUTER-ASSISTED INSTRUCTION FOR INSTRUMENTAL MUSIC EDUCATION. - ProQuest ». fr. Thèse de doct. 1974 : University of Illinois at Urbana-Champaign. URL : <https://www.proquest.com/openview/b32567fbde91c79d7bd58c08a1dca89e/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y> (visité le 10/12/2022).
- [633] Herbert L PETRI et Mortimer MISHKIN. « Behaviorism, cognitivism and the neuropsychology of memory ». In : *American Scientist* 82.1 (1994), p. 30-37.
- [634] Colleen PETTY et Michele L HENRY. « The Effects of Technology on the Sight-Reading Achievement of Beginning Choir Students. » In : *Texas Music Education Research* 23 (2014), p. 28.

- [635] E PFAFFELHUBER. « Learning and information theory ». In : *International journal of neuroscience* 3.2 (1972), p. 83-88.
- [636] Peter Q PFORDRESHER et Caroline PALMER. « Effects of hearing the past, present, or future during music performance ». In : *Perception & Psychophysics* 68.3 (2006), p. 362-376.
- [637] Jean PIAGET, Margaret COOK et al. *The origins of intelligence in children*. T. 8. 5. International Universities Press New York, 1952.
- [638] Danièle PISTONE. *L'Éducation musicale en France : histoire et méthodes*. fr. Presses Paris Sorbonne, 1983.
- [639] Christopher J. PLACK. « Musical Consonance : The Importance of Harmonicity ». en. In : *Current Biology* 20.11 (juin 2010), R476-R478. ISSN : 09609822. DOI : 10 . 1016 / j . cub . 2010 . 03 . 044. URL : <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960982210003702> (visité le 04/06/2022).
- [640] Herve PLATEL. « Mémoire, émotion et musique : Approches neuropsychologiques ». In : *Neuropsych News* 2 (jan. 2004), p. 84-92.
- [641] Friedrich PLATZ et al. « The influence of deliberate practice on musical achievement : a meta-analysis ». English. In : *Frontiers in Psychology* 5 (2014). Publisher : Frontiers. ISSN : 1664-1078. DOI : 10 . 3389 / fpsyg . 2014 . 00646. URL : <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2014.00646/full> (visité le 24/02/2021).
- [642] Henri POINCARÉ. « Démonstration nouvelle des propriétés de l'indicatrice d'une surface ». In : *Annales de Mathématiques* 13 (1874), p. 449-456.
- [643] Edwina POLLOCK, Paul CHANDLER et John SWELLER. « Assimilating complex information ». In : *Learning and instruction* 12.1 (2002), p. 61-86.
- [644] Justine POMERLEAU TURCOTTE, Maria MORENO SALA et Francis DUBÉ. « Factors Influencing Technology Use in Aural Skills Lessons ». en. In : *Revue musicale OICRM* 4.1 (2017). Number : 1 Publisher : Observatoire interdisciplinaire de création et recherche en musique (OICRM), p. 1-16. ISSN : 2368-7061. DOI : 10.7202/1040297ar. URL : <https://www.erudit.org/fr/revues/rmo/2017-v4-n1-rmo03108/1040297ar/> (visité le 06/05/2021).
- [645] Justine POMERLEAU TURCOTTE, Maria MORENO SALA et Francis DUBÉ. « Factors Influencing Technology Use in Aural Skills Lessons ». en. In : *Revue musicale OICRM* 4.1 (2017). Publisher : Observatoire interdisciplinaire de création et recherche en musique (OICRM), p. 1-16. ISSN : 2368-7061. DOI : 10.7202/1040297ar. URL : <https://www.erudit.org/en/journals/rmo/2017-v4-n1-rmo03108/1040297ar/> (visité le 10/01/2023).

- [646] Michael I POSNER et Stephen J BOIES. « Components of attention. » In : *Psychological review* 78.5 (1971), p. 391.
- [647] George PRATT et Michael HENSON. « Aural Teaching in the First Year of Tertiary Education : An Outline for a Course ». en. In : *British Journal of Music Education* 4.2 (juill. 1987). Number : 2 Publisher : Cambridge University Press, p. 115-138. ISSN : 1469-2104, 0265-0517. DOI : 10.1017/S0265051700005891. URL : <https://www.cambridge.org/core/journals/british-journal-of-music-education/article/aural-teaching-in-the-first-year-of-tertiary-education-an-outline-for-a-course/8908DDB692BEC2051324005C43DB736F#> (visité le 18/05/2021).
- [648] George PRATT, Michael HENSON et Simon CARGILL. *Aural Awareness : Principles and Practice*. en. Google-Books-ID : diSAUKUMOQUC. Oxford University Press, 1998. ISBN : 978-0-19-879021-1.
- [649] Harry E PRICE. « Sequential patterns of music instruction and learning to use them ». In : *Journal of Research in Music Education* 40.1 (1992), p. 14-29.
- [650] PRISMA. URL : <https://prisma-statement.org/PRISMAStatement/CheckList.aspx> (visité le 12/12/2022).
- [651] David B. PRUETT. « Orff before Orff : The Güntherschule (1924-1945) ». In : *Journal of Historical Research in Music Education* 24.2 (2003). Number : 2 Publisher : Ithaca College, p. 178-196. ISSN : 1536-6006. URL : <https://www.jstor.org/stable/40215266> (visité le 14/09/2021).
- [652] Liu QIUJU, Nicha PATTANANON et Songphon SUKHUMVAT. « Applying Carl Orff Method in Preschool Music Education in China ». In : *Journal of Modern Learning Development* 8.4 (2023), p. 283-290.
- [653] Daniel RAVELO FRANCO. « Musical training experience in a private university in lima ». eng. In : *RIDU* 6.1 (Dic.) (2012). Publisher : Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas Section : RIDU, p. 84-106. ISSN : 2223-2516. URL : <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4775415> (visité le 01/02/2023).
- [654] P RAZIŪNAITĖ et al. « Designing an educational music game for digital game based learning : A Lithuanian case study ». In : *2018 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*. IEEE. 2018, p. 0800-0805.

- [655] Gregg H. RECANZONE. « Rapidly induced auditory plasticity : The ventriloquism aftereffect ». en. In : *Proceedings of the National Academy of Sciences* 95.3 (fév. 1998). Number : 3 Publisher : National Academy of Sciences Section : Colloquium Paper, p. 869-875. ISSN : 0027-8424, 1091-6490. DOI : 10.1073/pnas.95.3.869. URL : <https://www.pnas.org/content/95/3/869> (visité le 23/10/2021).
- [656] Nancy B. REICH. « The Subject is Computers ». In : *Music Educators Journal* 55.6 (fév. 1969). Publisher : SAGE Publications Inc, p. 47-118. ISSN : 0027-4321. DOI : 10.2307/3392420. URL : <https://doi.org/10.2307/3392420> (visité le 10/12/2022).
- [657] Inger Elise REITAN. « Students' attitudes to aural training in an academy of music ». en. In : *Norges musikkhøgskole* 8 (2009). Number : 8, p. 14.
- [658] Resa RESPATI, Eli APRIYANINGSIH et Heri Yusuf MUSLIHIN. « The Development of Aurilio Games to Facilitate the Ear Training of Early Childhood ». en. In : ISSN : 2352-5398. Atlantis Press, fév. 2021, p. 292-296. ISBN : 978-94-6239-326-4. DOI : 10.2991/assehr.k.210203.063. URL : <https://www.atlantis-press.com/proceedings/icade-20/125952168> (visité le 31/01/2023).
- [659] J RESPINO et al. « Pitch paradise : A mobile game as an educational tool for music ». In : *Proceedings of the 2011 9th International Conference on Education and Information Systems, Technologies and Applications (EISTA), Orlando, FL, USA*. 2011, p. 19-22.
- [660] Cécile REYNAUD, Rosalba AGRESTA et Marie DUCHENE-THEGARID. « Histoire de la musique européenne au XIXe siècle : sources et collections ». In : *HEMEF | Histoire de l'enseignement public de la musique en France au XIXe siècle (1795-1914)* (2017). URL : <https://hemef.hypotheses.org/>.
- [661] Jordan RICHARDS. « Making Music Theory Fun ». In : *Masters Theses* (août 2022). URL : <https://digitalcommons.liberty.edu/masters/914>.
- [662] John RINK. *Musical performance : A guide to understanding*. Cambridge University Press, 2002.
- [663] Michael Ro et al. « Making Cool Choices for sustainability : Testing the effectiveness of a game-based approach to promoting pro-environmental behaviors ». In : *Journal of Environmental Psychology* 53 (2017), p. 20-30.
- [664] Ingo RODEN et al. « Effects of music training on attention, processing speed and cognitive music abilities—findings from a longitudinal study ». In : *Applied Cognitive Psychology* 28.4 (2014), p. 545-557.

- [665] Diego Alejandro RODRIGUEZ-GOMEZ et Claudia TALERO-GUTIÉRREZ. « Effects of music training in executive function performance in children : A systematic review ». In : *Frontiers in psychology* 13 (2022), p. 968144.
- [666] Carl Ransom ROGERS et H Jerome FREIBERG. *Freedom to learn*. Merrill/Macmillan College Publishing Co, 1969.
- [667] Melissa ROGERS. « Aural Dictation Affects High Achievement in Sight Singing, Performance and Composition Skills ». en. In : *Australian Journal of Music Education* (2013). Publisher : Australian Society for Music Education. ISSN : 0004-9484. URL : <https://eric.ed.gov/?id=EJ1061809> (visité le 30/04/2021).
- [668] Yvonne ROGERS. « New theoretical approaches for HCI ». In : *Annual review of information science and technology* 38.1 (2004), p. 87-143.
- [669] Martin ROHRMEIER et Patrick REBUSCHAT. « Implicit learning and acquisition of music ». In : *Topics in cognitive science* 4.4 (2012), p. 525-553.
- [670] Martin A ROHRMEIER et Stefan KOELSCH. « Predictive information processing in music cognition. A critical review ». In : *International Journal of Psychophysiology* 83.2 (2012), p. 164-175.
- [671] Mario A. ROJAS-SÁNCHEZ, Pedro R. PALOS-SÁNCHEZ et José A. FOLGADO-FERNÁNDEZ. « Systematic literature review and bibliometric analysis on virtual reality and education ». en. In : *Education and Information Technologies* (juin 2022). ISSN : 1573-7608. DOI : 10.1007/s10639-022-11167-5. URL : <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11167-5> (visité le 22/10/2022).
- [672] Stewart L Ross. « The effectiveness of mental practice in improving the performance of college trombonists ». In : *Journal of Research in Music Education* 33.4 (1985), p. 221-230.
- [673] Zachary R. Ross. « The Effects of Computerized and Traditional Ear Training Programs on Aural Skills of Elementary Students ». en\_US. Accepted : 2017-06-02T15:25:00Z. Thesis. 2017. URL : <http://mcstor.library.milligan.edu:80/handle/11558/2487> (visité le 10/01/2023).
- [674] Matthew S. ROYAL. « Music Cognition and Aural Skills : A Review Essay on George Pratt's "Aural Awareness" ». In : *Music Perception : An Interdisciplinary Journal* 17.1 (1999). Sous la dir. de George PRATT. Number : 1 Publisher : University of California Press, p. 127-144. ISSN : 0730-7829. DOI : 10.2307/40285815. URL : <http://www.jstor.org/stable/40285815> (visité le 18/05/2021).

- [675] Mădălina Dana RUCSANDA, Alexandra BELIBOU et Ana-Maria CAZAN. « Students' Attitudes Toward Online Music Education During the COVID 19 Lockdown ». In : *Frontiers in Psychology* 12 (2021). ISSN : 1664-1078. URL : <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2021.753785> (visité le 26/04/2023).
- [676] Heikki RUISMÄKI et Antti JUVONEN. « The new horizons for music technology in music education ». In : *The Changing Face of Music Education. Music and Environment* (2009), p. 98-104.
- [677] Liu RUOLING, Chutasiri YODWISED et Lim Sin MEI. « Observing the Music Teaching By Using “Carl Orff Method in Mojiang Middle School, Guangdong Province, The People's Republic of China ». In : *Journal of Roi Kaensarn Academi* 9.2 (2024), p. 545-555.
- [678] Timur SADYKOV et al. « A systematic review of programmed learning approach in science education ». In : *Cogent Education* 10.1 (2023), p. 2189889.
- [679] Murad Abdu SAEED et Huda Suleiman AL QUNAYEER. « Exploring teacher interactive e-feedback on students' writing through Google Docs : factors promoting interactivity and potential for learning ». In : *The Language Learning Journal* 50.3 (mai 2022). Publisher : Routledge \_eprint : <https://doi.org/10.1080/09571736.2020.1786711>, p. 360-377. ISSN : 0957-1736. DOI : 10.1080/09571736.2020.1786711. URL : <https://doi.org/10.1080/09571736.2020.1786711> (visité le 22/10/2022).
- [680] Michael SAILER et Lisa HOMNER. « The Gamification of Learning : a Meta-analysis ». en. In : *Educational Psychology Review* 32.1 (mars 2020), p. 77-112. ISSN : 1573-336X. DOI : 10.1007/s10648-019-09498-w. URL : <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09498-w> (visité le 05/02/2023).
- [681] Miikka SALAVUO. « Social media as an opportunity for pedagogical change in music education ». In : *Journal of Music, Technology & Education* 1.2-3 (2008), p. 121-136.
- [682] Michael Nagaku Milenn SALIM et Hanhan MAULANA. « Development of an Educational Training Game for Ear Sensitivity of Intervals ». In : *International Journal of Informatics, Information System and Computer Engineering (INJIISCOM)* 4.1 (2023), p. 89-100.
- [683] Floriane SALLÉ. « Les méthodes actives, facteur de réussite et d'empowerment chez les élèves ». fr. In : (), p. 82.

- [684] Wisnu Dimas SASONGKO et Indah WIDIASTUTI. « Virtual lab for vocational education in Indonesia : A review of the literature ». In : *AIP Conference Proceedings* 2194.1 (déc. 2019). Publisher : American Institute of Physics, p. 020113. ISSN : 0094-243X. DOI : 10.1063/1.5139845. URL : <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.5139845> (visité le 22/10/2022).
- [685] Jeff SAURO et Pareezad ZAROLIA. « SUPR-Qm : a questionnaire to measure the mobile app user experience ». In : *Journal of Usability Studies* 13.1 (2017), p. 17-37.
- [686] Jonathan SAVAGE. « Reconstructing Music Education through ICT ». en. In : *Research in Education* 78.1 (nov. 2007). Number : 1 Publisher : SAGE Publications Ltd STM, p. 65-77. ISSN : 0034-5237. DOI : 10.7227/RIE.78.6. URL : <https://doi.org/10.7227/RIE.78.6> (visité le 03/01/2022).
- [687] John Frederic SCANDRETT. « THE EFFICACY OF CONCEPT MAPPING IN AURAL SKILLS TRAINING ». en. Thèse de doct. Pittsburgh : University of Pittsburgh, 2005. URL : [http://d-scholarship.pitt.edu/6943/1/scandrett\\_etd05.pdf](http://d-scholarship.pitt.edu/6943/1/scandrett_etd05.pdf).
- [688] Pierre SCHAEFFER. « Traité des objets musicaux ». In : *Lexikon Schriften über Musik*. Springer, 2022, p. 735-744.
- [689] R. Murray SCHAFER. *A Sound Education : 100 Exercises in Listening and Sound-making*. en. Google-Books-ID : TqCTQgAACAAJ. Arcana Editions, 1992. ISBN : 978-1-895127-15-7.
- [690] R. Murray SCHAFER. *The Rhinoceros in the Classroom*. en. Google-Books-ID : Ipp\_QgAACAAJ. Universal Edition, 1975. ISBN : 978-0-900938-44-3.
- [691] R. Murray SCHAFER. *The Soundscape : Our Sonic Environment and the Tuning of the World : Schafer, R. Murray : Amazon.fr : Livres*. Rocherster, Vermont, USA : Destiny Books, 1977. ISBN : 0-89281-455-1.
- [692] E Glenn SCHELLENBERG. « Long-term positive associations between music lessons and IQ. » In : *Journal of educational psychology* 98.2 (2006), p. 457.
- [693] Kylie SCHIBLI et al. « More Evidence That Ensemble Music Training Influences Children's Neurobehavioral Correlates of Auditory Executive Attention ». In : *Brain Sciences* 13.5 (2023), p. 783.
- [694] Mirjam SCHMID, Eliana BRIANZA et Dominik PETKO. « Developing a short assessment instrument for Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK.xs) and comparing the factor structure of an integrative and a transformative model ». en. In : *Computers & Education* 157 (nov. 2020), p. 103967. ISSN : 0360-1315. DOI : 10.1016/j.compedu.2020.

103967. URL : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131520301652> (visité le 01/02/2021).
- [695] Wolfgang SCHNOTZ, Stefan FRIES et Holger HORZ. « Some motivational aspects of cognitive load theory ». In : *Contemporary motivation research : From global to local perspectives* (2009), p. 86-113.
- [696] Ben SCHOLL, Xiang GAO et Michael WEHR. « Nonoverlapping Sets of Synapses Drive On Responses and Off Responses in Auditory Cortex ». en. In : *Neuron* 65.3 (fév. 2010). Number : 3, p. 412-421. ISSN : 0896-6273. DOI : 10.1016/j.neuron.2010.01.020. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0896627310000462> (visité le 23/10/2021).
- [697] Klaus SCHWAB. *The Fourth Industrial Revolution*. en. Google-Books-ID : ST\_FDAAAQBAJ. Crown, jan. 2017. ISBN : 978-1-5247-5887-5.
- [698] Klaus SCHWAB. *The fourth industrial revolution*. Currency, 2017.
- [699] Katie SEABORN et Deborah I FELS. « Gamification in theory and action : A survey ». In : *International Journal of human-computer studies* 74 (2015), p. 14-31.
- [700] Carl E. SEASHORE. « Psychology of Music : » en. In : *Music Educators Journal* (août 2016). Publisher : SAGE PublicationsSage CA : Los Angeles, CA. DOI : 10.2307/3385627. URL : <https://journals-sagepub-com.accesdistant.sorbonne-universite.fr/doi/abs/10.2307/3385627> (visité le 13/04/2021).
- [701] Carl E. SEASHORE. « THE MEASUREMENT OF MUSICAL TALENT ». en. In : *The Musical Quarterly* I.1 (1915). Number : 1, p. 129-148. ISSN : 0027-4631, 1741-8399. DOI : 10.1093/mq/I.1.129. URL : <https://academic.oup.com/mq/article-lookup/doi/10.1093/mq/I.1.129> (visité le 13/04/2021).
- [702] Olivier SÉBASTIEN, Noël CONRUYT et Stéphane CALDERONI. « Enhancing music learning experience through a dedicated web 2.0 oriented service ». In : *Proceedings of International Conferences on New Media Technology and Semantic Systems, I-media'2007 and I-semantics' 2007*. 2007, p. 109-116.
- [703] Anne SÈDES. « L'INFORMATIQUE MUSICALE AU DEPARTEMENT DE MUSIQUE DE L'UNIVERSITE DE PARIS 8 ». In : *Journées d'Informatique Musicale*. Grenoble, France, avr. 2009. URL : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03133648> (visité le 30/01/2022).



- [704] Norman SEGALOWITZ et al. « Musical Recall Memory : Contributions of Elaboration and Depth of Processing ». en. In : *Psychology of Music* 29.2 (oct. 2001). Publisher : SAGE Publications Ltd, p. 139-148. ISSN : 0305-7356. DOI : 10.1177/0305735601292004. URL : <https://doi.org/10.1177/0305735601292004> (visité le 23/02/2022).
- [705] Ayesha SEHER et al. « Academic Excellence in E Learning Based Virtual Assistance ». In : *2021 Sustainable Leadership and Academic Excellence International Conference (SLAE)*. Nov. 2021, p. 1-8. DOI : 10.1109/SLAE54202.2021.9788100.
- [706] Stefania SERAFIN et al. « Considerations on the use of virtual and augmented reality technologies in music education ». In : *2017 IEEE virtual reality workshop on K-12 embodied learning through virtual & augmented reality (KELVAR)*. IEEE. 2017, p. 1-4.
- [707] Dr Emine SERDAROGLU. « Ear Training Made Easy : Using IOS Based Applications to Assist Ear Training in Children ». en-US. In : *European Journal of Social Science Education and Research* 5.2 (déc. 2018), p. 265-272. ISSN : 2312-8429. URL : <https://revistia.com/index.php/ejser/article/view/6672> (visité le 12/12/2022).
- [708] Tina SEUFERT, Maren SCHÜTZE et Roland BRÜNKEN. « Memory characteristics and modality in multimedia learning : An aptitude-treatment-interaction study ». In : *Learning and instruction* 19.1 (2009), p. 28-42.
- [709] Karim SHABANI, Mohamad KHATIB et Saman EBADI. « Vygotsky's zone of proximal development : Instructional implications and teachers' professional development. » In : *English language teaching* 3.4 (2010), p. 237-248.
- [710] Mary SHAMROCK. « Orff-Schulwerk : An Integrated Foundation ». en. In : *Music Educators Journal* 83.6 (1997). Number : 6, p. 41-44. ISSN : 0027-4321. (Visité le 16/09/2021).
- [711] Merton SHATZKIN. « Interval and Pitch Recognition in and out of Immediate Context ». en. In : *Journal of Research in Music Education* 29.2 (juill. 1981). Number : 2, p. 111-123. ISSN : 0022-4294, 1945-0095. DOI : 10.2307/3345020. URL : <http://journals.sagepub.com/doi/10.2307/3345020> (visité le 07/12/2021).
- [712] Deborah A. SHELDON. « Effects of Contextual Sight-Singing and Aural Skills Training on Error-Detection Abilities ». en. In : *Journal of Research in Music Education* 46.3 (oct. 1998). Number : 3 Publisher : SAGE Publications Inc, p. 384-395. ISSN : 0022-4294. DOI : 10.2307/3345550. URL : <https://doi.org/10.2307/3345550> (visité le 30/04/2021).

- [713] Shuo SHEN et Kehui WU. « Solfeggio Teaching Method Based on MIDI Technology in the Background of Digital Music Teaching ». In : *International Journal of Web-Based Learning and Teaching Technologies (IJWLTT)* 18.1 (2023), p. 1-18.
- [714] Yaoyao SHI. « The use of mobile internet platforms and applications in vocal training : Synergy of technological and pedagogical solutions ». In : *Interactive learning environments* 31.6 (2023), p. 3780-3791.
- [715] Favio SHIFRES. « Lenguaje musical, metalenguaje y las dimensiones ignoradas en el desarrollo de las habilidades auditivas ». es. In : (), p. 36.
- [716] Joseph SHIVELY. « Constructivism in music education ». In : *Arts Education Policy Review* 116.3 (2015), p. 128-136.
- [717] Anna SHVETS et Samer DARKAZANLI. « Adaptive VR Test in Music Harmony Based on Conditional Spiking GAN ». In : *Proceedings of EVA London 2022*. BCS Learning & Development. 2022, p. 177-184.
- [718] Aliya SIKANDAR. « John Dewey and his philosophy of education ». In : *Journal of education and Educational Development* 2.2 (2015), p. 191.
- [719] Amy L SIMMONS et al. « Effects of early break intervals on musicians' and nonmusicians' skill learning ». In : *Psychology of Music* 47.1 (2019), p. 83-95.
- [720] Daniel J SIMONS et Christopher F CHABRIS. « Gorillas in our midst : Sustained inattentive blindness for dynamic events ». In : *perception* 28.9 (1999), p. 1059-1074.
- [721] Natalie C. SINCLAIR et al. « From Beethoven to Beyoncé : Do Changing Aesthetic Cultures Amount to “Cumulative Cultural Evolution?” » In : *Frontiers in Psychology* 12 (2022). ISSN : 1664-1078. URL : <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2021.663397> (visité le 02/08/2022).
- [722] A. SIRIGU et J. R. DUHAMEL. « Motor and Visual Imagery as Two Complementary but Neurally Dissociable Mental Processes ». In : *Journal of Cognitive Neuroscience* 13.7 (oct. 2001). Conference Name : Journal of Cognitive Neuroscience, p. 910-919. ISSN : 0898-929X. DOI : 10.1162/089892901753165827.
- [723] Olivier SIROIS. « L'utilisation d'un environnement d'apprentissage virtuel pour soutenir le développement des compétences auditives des étudiants de niveau collégial ». fr. Thèse de doct. Québec, Canada : Université de Laval, 2020. URL : <https://corpus.ulaval.ca/jspui/bitstream/20500.11794/67312/1/36514.pdf> (visité le 17/01/2022).

- [724] Olivier SIROIS et Jean-Philippe DESPRÉS. « REVUE DE LITTÉRATURE SUR LA TECHNOLOGIE DÉDIÉE À LA FORMATION AUDITIVE ET LES ENVIRONNEMENTS D'APPRENTISSAGE VIRTUELS DANS L'ENSEIGNEMENT-APPRENTISSAGE DE LA MUSIQUE ». Français. In : *Recherche en éducation musicale* 34 (2019), p. 93-118. URL : <https://www.mus.ulaval.ca/sites/mus.ulaval.ca/files/2020-11/REEM-34-TIC-EAV.pdf>.
- [725] James SISLEY. « A COMPARATIVE STUDY OF APPROACHES ». en. In : (), p. 49.
- [726] B Frederic SKINNER. « Two types of conditioned reflex and a pseudo type ». In : *The Journal of General Psychology* 12.1 (1935), p. 66-77.
- [727] BF SKINNER. « The Science of Learning and the art of teaching ». In : *Adult and Continuing Education : Adult education-viewed from the disciplines* 24.2 (2003), p. 96.
- [728] Burrhus Frederic SKINNER. *Beyond freedom and dignity*. Hackett Publishing, 1971.
- [729] Darija SKUBIC, Blažka GABERC et Janez JERMAN. « Supportive development of phonological awareness through musical activities according to Edgar Willems ». In : *SAGE open* 11.2 (2021), p. 21582440211021832.
- [730] L. Robert SLEVC et al. « Tuning the mind : Exploring the connections between musical ability and executive functions ». en. In : *Cognition* 152 (juill. 2016), p. 199-211. ISSN : 0010-0277. DOI : 10.1016/j.cognition.2016.03.017. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010027716300725> (visité le 26/04/2023).
- [731] John A. SLOBODA. *The Musical Mind : The Cognitive Psychology of Music*. en. Google-Books-ID : oZCfAAAAMAAJ. Clarendon Press, 1985. ISBN : 978-0-19-852114-3.
- [732] Christopher SMALL. *Musicking : The meanings of performing and listening*. Wesleyan University Press, 1998.
- [733] Thomas SMIALEK et Renee Reiter BOBURKA. « The effect of cooperative listening exercises on the critical listening skills of college music-appreciation students ». English (US). In : *Journal of Research in Music Education* 54.1 (2006). Number : 1 Publisher : SAGE Publications Inc., p. 57-72. ISSN : 0022-4294. DOI : 10.1177/002242940605400105. URL : <https://pennstate.pure.elsevier.com/en/publications/the-effect-of-cooperative-listening-exercises-on-the-critical-lis> (visité le 21/05/2021).

- [734] BINARY GUILT SOFTWARE. *Complete Ear Trainer - The ultimate ear training app for musicians*. <https://completeeartrainer.com/en/>. Accessed : 2024-04-20.
- [735] Rising SOFTWARE. *Musition 1.0*. 1997. URL : <https://www.risingsoftware.com/>.
- [736] Janis SOKOLOVSKIS, Dorien HERREMANS et Elaine CHEW. « A Novel Interface for the Graphical Analysis of Music Practice Behaviors ». In : *Frontiers in Psychology* 9 (2018), p. 2292. ISSN : 1664-1078. DOI : 10.3389/fpsyg.2018.02292. URL : <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2018.02292> (visité le 04/01/2022).
- [737] Cynthia SOLOMON et al. « History of logo ». In : *Proceedings of the ACM on Programming Languages* 4.HOPL (2020), p. 1-66.
- [738] *Some factors which influence melodic expectancy*. - *PsycNET*. URL : <https://psycnet.apa.org/record/1982-09503-001> (visité le 25/01/2022).
- [739] Rachel A SORENSON. « Error detection in music education : A review of literature ». In : *Update : Applications of Research in Music Education* 40.1 (2021), p. 54-62.
- [740] Fabian A SOTO et al. « Why is the Rescorla-Wagner model so influential? » In : *Neurobiology of Learning and Memory* 204 (2023), p. 107794.
- [741] Marcantonio M. SPADA. « An overview of problematic Internet use ». en. In : *Addictive Behaviors* 39.1 (jan. 2014), p. 3-6. ISSN : 0306-4603. DOI : 10.1016/j.addbeh.2013.09.007. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306460313002669> (visité le 25/10/2022).
- [742] Douglas SPANGLER. « Computer-assisted instruction in ear-training and its integration into undergraduate music programs during the 1998-1999 academic year ». fr. Thèse de doct. Michigan State University, 1999. URL : <https://www.proquest.com/openview/e0d6d1463c26b52f818b1c3038973cf1/1?cb1=18750&diss=y&pq-origsite=gscholar&parentSessionId=uRpwAGtqyGnaDXZhpPiHIzI%2BoUuIUjsjaFLcvaJFProA%3D> (visité le 12/12/2022).
- [743] Charles L. SPOHN. *An Exploration in the Use of Recorded Teaching Material to Develop Aural Comprehension in College Music Classes*. en. Google-Books-ID : r4U6AAAIAAJ. Ohio State University, 1959.
- [744] Charles L. SPOHN. « An exploration in the use of recorded teaching material to develop aural comprehension in college music classes / ». en. Thèse de doct. The Ohio State University, 1959. URL : [https://etd.ohiolink.edu/apexprod/rws\\_olink/r/1501/10?clear=10&p10\\_accession\\_num=osu1486475308018271](https://etd.ohiolink.edu/apexprod/rws_olink/r/1501/10?clear=10&p10_accession_num=osu1486475308018271) (visité le 25/01/2022).

- [745] Larry R. SQUIRE et John T. WIXTED. « The Cognitive Neuroscience of Human Memory Since H.M. » In : *Annual Review of Neuroscience* 34.1 (2011). \_eprint : <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-061010-113720>, p. 259-288. DOI : 10.1146/annurev-neuro-061010-113720. URL : <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-061010-113720> (visité le 22/02/2022).
- [746] Robin STARK et al. « Conditions and effects of example elaboration ». In : *Learning and instruction* 12.1 (2002), p. 39-60.
- [747] John A. STEFFA. *Introduction to Music Theory and Aural Skills : A Study in Developing an Interactive Music Learning Environment for the Internet*. en. Rapp. tech. ERIC Number : ED446759. 2000. URL : <https://eric.ed.gov/?id=ED446759> (visité le 10/01/2023).
- [748] Stephen McAdams : *Recognition of Auditory Sound Sources and Events (Thinking in Sound : The Cognitive Psychology of Human Audition, Oxford University Press, Oxford 1993)*. <!--#IF EXPR="\$DOCUMENT\_NAME = /-e.html/" -->IRCAM Multimedia Library<!--#ELSE -->Médiathèque de l'Ircam<!--#ENDIF --> © Ircam, 1996-2008 - <!--#IF EXPR="\$DOCUMENT\_NAME = /-e.html/" -->Research Institute in Acoustics and Music<!--#ELSE -->Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique <!--#ENDIF --> - Paris, France. Avr. 2021. URL : <http://articles.ircam.fr/textes/McAdams93a/> (visité le 20/04/2021).
- [749] Robin S STEVENS. « The evolution of technology-based approaches to music teaching and learning in Australia : A personal journey ». In : *Australian Journal of Music Education* 52.1 (2018), p. 59-69.
- [750] Robin S. STEVENS. « The Best of Both Worlds : An Eclectic Approach to the Use of Computer Technology in Music Education ». In : *International Journal of Music Education* os-17.1 (mai 1991). Publisher : SAGE Publications Ltd, p. 24-36. ISSN : 0255-7614. DOI : 10.1177/025576149101700104. URL : <https://doi.org/10.1177/025576149101700104> (visité le 09/01/2023).
- [751] Dana L STRAIT et al. « Music training relates to the development of neural mechanisms of selective auditory attention ». In : *Developmental cognitive neuroscience* 12 (2015), p. 94-104.
- [752] Dana L. STRAIT et al. « Musical experience shapes top-down auditory mechanisms : Evidence from masking and auditory attention performance ». en. In : *Hearing Research* 261.1 (mars 2010), p. 22-29. ISSN : 0378-5955. DOI : 10.1016/j.heares.2009.12.021. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378595509003116> (visité le 29/03/2022).

- [753] Igor STRAVINSKY. *Themes and Conclusions*. en. Google-Books-ID : BRLZdk2DZBoC. University of California Press, 1982. ISBN : 978-0-520-04652-8.
- [754] Jing Qiu SUN. « Interactive piano Learning Systems : implementing the Suzuki Method in web-based classrooms ». In : *Education and Information Technologies* 28.3 (2023), p. 3401-3416.
- [755] Tarja SUSI, Mikael JOHANNESSON et Per BACKLUND. *Serious Games : An Overview*. eng. Institutionen för kommunikation och information, 2007. URL : <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:his:diva-1279> (visité le 02/02/2023).
- [756] Dr Shinichi SUZUKI et Waltraud SUZUKI. *Nurtured by Love : The Classic Approach to Talent Education*. en. Alfred Music, 1983. ISBN : 978-1-4574-0347-7.
- [757] Keith SWANWICK et June TILLMAN. « The sequence of musical development : a study of children's composition ». In : *British journal of music education* 3.3 (1986), p. 305-339.
- [758] David SWANZY. « The Versatile Computer : Moving toward an efficient, functional computer laboratory to assist in music learning ». In : *Music Educators Journal* 62.7 (mars 1976). Publisher : SAGE Publications Inc, p. 37-41. ISSN : 0027-4321. DOI : 10.2307/3395028. URL : <https://doi.org/10.2307/3395028> (visité le 10/01/2023).
- [759] John SWELLER. « The worked example effect and human cognition. » In : *Learning and instruction* (2006).
- [760] Alice TACAÏLLE. « Sources théoriques françaises du xvie siècle : le psautier solmisé de Pierre Davantès (1555) ». fr. In : *Le Jardin de Musique - Revue de l'association Musique ancienne en Sorbonne* (2009), p. 23. URL : <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-02098502> (visité le 09/04/2021).
- [761] Laurie TAETLE et Robert CUTIETTA. « Learning theories as roots of current musical practice and research ». In : *The new handbook of research on music teaching and learning* (2002), p. 279-298.
- [762] Leonard TAN et Hui Xing SIN. « Flow research in music contexts : A systematic literature review ». en. In : *Musicae Scientiae* 25.4 (déc. 2021). Publisher : SAGE Publications Ltd, p. 399-428. ISSN : 1029-8649. DOI : 10.1177/1029864919877564. URL : <https://doi.org/10.1177/1029864919877564> (visité le 12/12/2022).
- [763] Marija K TANASKOVIĆ. « Comparative analysis of the approach to music education in the methods of Edgar Willems and Maurice Martenot ». In : *Zbornik radova Pedagoškog fakulteta, Užice* 23 (2021), p. 177-186.

- [764] Alexandra C. TAYLOR et Stephen A. DEWHURST. « Investigating the influence of music training on verbal memory ». en. In : *Psychology of Music* 45.6 (nov. 2017). Publisher : SAGE Publications Ltd, p. 814-820. ISSN : 0305-7356. DOI : 10.1177/0305735617690246. URL : <https://doi.org/10.1177/0305735617690246> (visité le 22/02/2022).
- [765] H5P TEAM. <https://h5p.org/technical-overview>. 2013.
- [766] *Technology Inside, Outside, and as the University Aural Skills Classroom*. en. Pages : 453-461 Publication Title : The Routledge Companion to Aural Skills Pedagogy. Routledge, mars 2021. ISBN : 978-0-429-27639-2. DOI : 10.4324/9780429276392-39. URL : <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9780429276392-39/technology-inside-outside-university-aural-skills-classroom-nathan-fleshner-trevor-de-clercq> (visité le 23/01/2023).
- [767] Jesus TEJADA. « Hearing Music Notation through Music Score Software ». In : *The International Journal of Learning : Annual Review* 16 (jan. 2009), p. 17-32. DOI : 10.18848/1447-9494/CGP/v16i06/46351.
- [768] Jesus TEJADA et Tomás THAYER. « Design and validation of a music technology course for initial music teacher education based on the TPACK framework and the project-based learning approach ». In : *Journal of Music Technology and Education* 12 (sept. 2020), p. 225-246. DOI : 10.1386/jmte\_00008\_1.
- [769] Jesús TEJADA et Tomás Thayer MOREL. « Design and validation of a music technology course for initial music teacher education based on the TPACK framework and the project-based learning approach ». In : *Journal of Music, Technology and Education* 12.3 (déc. 2019), p. 225-246. DOI : 10.1386/jmte\_00008\_1.
- [770] Marko TERÄS et al. « Post-Covid-19 education and education technology 'solutionism' : A seller's market ». In : *Postdigital Science and Education* 2.3 (2020), p. 863-878.
- [771] Pascal TERRIEN. « Chapitre 1. L'utilisation des nouvelles technologies dans l'enseignement de l'éducation musicale au collège. » In : *L'intégration du numérique dans l'enseignement. Apprentissage musical, instrumental et vocal*. L'Harmattan, 2018. ISBN : 978-2-343-13839-8. URL : <https://hal-amu.archives-ouvertes.fr/hal-02262525> (visité le 21/01/2022).
- [772] Pascal TERRIEN. « Chapitre 1. L'utilisation des nouvelles technologies dans l'enseignement de l'éducation musicale au collège. » In : *L'intégration du numérique dans l'enseignement. Apprentissage musical, instrumental et vocal* (2018).

- [773] Pascal TERRIEN. « Des logiciels audio-vidéo à l'enseignement de l'éducation musicale dans l'enseignement secondaire français ». fr. In : *Les Cahiers de la Société québécoise de recherche en musique* 17.1 (2016). Publisher : Société québécoise de recherche en musique, p. 25-37. ISSN : 1480-1132, 1929-7394. DOI : 10.7202/1044667ar. URL : <https://www.erudit.org/en/journals/sqrm/2016-v17-n1-sqrm03576/1044667ar/> (visité le 27/01/2022).
- [774] Pascal TERRIEN et Angelika GÜSEWELL. « Continuité pédagogique et enseignement à distance dans l'enseignement supérieur musical ». fr. In : *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire / International Journal of Technologies in Higher Education* 18.1 (2021). Publisher : CRIFPE, p. 139-156. ISSN : 1708-7570. DOI : 10.18162/ritpu-2021-v18n1-13. URL : <https://www.erudit.org/en/journals/ritpu/1900-v1-n1-ritpu06306/1080758ar/abstract/> (visité le 26/04/2023).
- [775] *The Complete Musician - Paperback - Steven G. Laitz - Oxford University Press*. en. Cc : us Lang : en. URL : <https://global.oup.com/ushe/product/the-complete-musician-9780199347094> (visité le 06/01/2023).
- [776] *The state-of-the-art in digital technology-based assessment - O'Leary - 2018 - European Journal of Education - Wiley Online Library*. URL : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ejed.12271> (visité le 22/10/2022).
- [777] « The use of an interactive whiteboard in solfeggio teaching ». In : *Arts & Communication* (2024).
- [778] *The writings of Emile Jaques-Dalcroze : Toward a theory for the performance of musical rhythm - ProQuest*. en. Sept. 2021. URL : <https://www.proquest.com/openview/dda20a69c37797e71b273fb05964452b/1?cb1=18750&diss=y&pq-origsite=gscholar> (visité le 04/09/2021).
- [779] Jean-Baptiste THIÉBAUT. « Pompilooop, logiciel de création musicale jeune public ». In : *Journées d'Informatique Musicale*. 2005.
- [780] Edgar THOMPSON. « SIGHTSINGING CONSTANT RHYTHM PITCH PHRASES : A COMPUTER ASSISTED INSTRUCTIONAL SYSTEM ». en. Thèse de doct. University of Utah, 1973. URL : <https://www.proquest.com/openview/452988fabd1c7c8022a54212691019d7/1?cb1=18750&diss=y&pq-origsite=gscholar&parentSessionId=6oKwpjQEz8v6e8Hs5AqmK2NzPg0LhVNLaZISC/3D> (visité le 10/12/2022).
- [781] Sam THOMPSON et Andreas C LEHMANN. « STRATEGIES FOR SIGHT-READING AND IMPROVISING MUSIC ». en. In : (), p. 18.



- [782] Edward Lee THORNDIKE. *The psychology of learning*. T. 2. Teachers College, Columbia University, 1913.
- [783] Barbara TILLMANN et al. « Apprendre la musique : perspectives sur l'apprentissage implicite de la musique et ses implications pédagogiques ». fr. In : *Revue française de pédagogie* 152.1 (2005). Number : 1, p. 63-77. ISSN : 0556-7807. DOI : 10.3406/rfp.2005.3364. URL : [https://www.persee.fr/doc/rfp\\_0556-7807\\_2005\\_num\\_152\\_1\\_3364](https://www.persee.fr/doc/rfp_0556-7807_2005_num_152_1_3364) (visité le 01/02/2021).
- [784] Neil P. M. TODD et Christopher S. LEE. « The sensory-motor theory of rhythm and beat induction 20 years on : a new synthesis and future perspectives ». In : *Frontiers in Human Neuroscience* 9 (août 2015). ISSN : 1662-5161. DOI : 10.3389/fnhum.2015.00444. URL : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4549635/> (visité le 20/04/2021).
- [785] R Larry TODD. *Schumann and his World*. T. 36. Princeton University Press, 2014.
- [786] Michael TOMASELLO, Ann Cale KRUGER et Hilary Horn RATNER. « Cultural learning ». In : *Behavioral and brain sciences* 16.3 (1993), p. 495-511.
- [787] *Top categories on Google Play*. en. URL : <https://www.appbrain.com/stats/android-market-app-categories> (visité le 03/02/2023).
- [788] *TPACK - Integrating Technology in Music*. URL : <https://sites.google.com/site/integratingtechnologyinmusic/incorporating-technology/tpack-model> (visité le 17/01/2022).
- [789] Laurel J. TRAINOR. « The origins of music in auditory scene analysis and the roles of evolution and culture in musical creation ». In : *Philosophical Transactions of the Royal Society B : Biological Sciences* 370.1664 (mars 2015). Publisher : Royal Society, p. 20140089. DOI : 10.1098/rstb.2014.0089. URL : <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rstb.2014.0089> (visité le 26/03/2022).
- [790] Lucas TRANCHANT. « Des musiciens à bonne école Les pratiques éducatives des classes supérieures au prisme de l'apprentissage enfantin de la musique ». fr. In : *Sociologie* Vol. 7.1 (avr. 2016). Number : 1 Publisher : Presses Universitaires de France, p. 23-40. ISSN : 2108-8845. URL : <https://www.cairn.info/revue-sociologie-2016-1-page-23.htm> (visité le 11/06/2021).
- [791] Sandra E TREHUB. « The developmental origins of musicality ». In : *Nature neuroscience* 6.7 (2003), p. 669-673.

- [792] Leo TREITLER. « Oral, Written, and Literate Process in the Transmission of Medieval Music ». In : *Speculum* 56.3 (1981). Publisher : [Medieval Academy of America, Cambridge University Press, University of Chicago Press], p. 471-491. ISSN : 0038-7134. DOI : 10.2307/2847738. URL : <https://www.jstor.org/stable/2847738> (visité le 17/02/2022).
- [793] Leo TREITLER. « The Early History of Music Writing in the West ». In : *Journal of the American Musicological Society* 35.2 (1982). Publisher : [University of California Press, American Musicological Society], p. 237-279. ISSN : 0003-0139. DOI : 10.2307/831146. URL : <https://www.jstor.org/stable/831146> (visité le 17/02/2022).
- [794] Daniel TRÖHLER. « Singen als Alchemie zur menschlichen Tugend : Pfeifers und Nagelis Gesangbildungslehre vor dem Hintergrund der pestalozzischen ». In : *Schweizer Jahrbuch für Musikwissenschaft*. Peter Lang, avr. 2017. ISBN : 978-3-0343-2887-6.
- [795] Joanne TROUTNER. *The Historical Evolution of Educational Software*. en. Rapp. tech. ERIC Number : ED349936. 1991. URL : <https://eric.ed.gov/?id=ED349936> (visité le 10/12/2022).
- [796] Selen TURKAY et al. « Toward Understanding the Potential of Games for Learning : Learning Theory, Game Design Characteristics, and Situating Video Games in Classrooms ». In : *Computers in the Schools* 31.1-2 (avr. 2014). Publisher : Routledge\_eprint : <https://doi.org/10.1080/07380569.2014.890879>, p. 2-22. ISSN : 0738-0569. DOI : 10.1080/07380569.2014.890879. URL : <https://doi.org/10.1080/07380569.2014.890879> (visité le 03/02/2023).
- [797] Jon A TURNER et Robert A KARASEK JR. « Software ergonomics : effects of computer application design parameters on operator task performance and health ». In : *Ergonomics* 27.6 (1984), p. 663-690.
- [798] Sorbonne UNIVERSITE. *UFR de Musique et musicologie*. consulte le 30 octobre 2023. 2023. URL : <https://lettres.sorbonne-universite.fr/faculte-des-lettres/ufr/ufr-de-musique-et-musicologie>.
- [799] Rena UPITIS et Julia BROOK. « How much professional development is enough? Meeting the needs of independent music teachers learning to use a digital tool ». en. In : *International Journal of Music Education* 35.1 (fév. 2017). Number : 1 Publisher : SAGE Publications Ltd, p. 93-106. ISSN : 0255-7614. DOI : 10.1177/0255761415619426. URL : <https://doi.org/10.1177/0255761415619426> (visité le 05/01/2022).
- [800] *User's Guide for the amsmath Package*. American Mathematical Society. 25 fév. 2002.

- [801] Jonas VAAG, Erik R SUND et Ottar BJERKESET. « Five-factor personality profiles among Norwegian musicians compared to the general workforce ». In : *Musicae Scientiae* 22.3 (2018), p. 434-445.
- [802] Valerij VALUJEVIČ. « Informacinių komunikacinių technologijų naudojimas neformaliajame profesiniame švietime, siekiant efektyvesnio ir socialiai patrauklesnio muzikinio ugdymo (Lietuvos vaikų ir jaunimo centro pavyzdžiu) ». lit. Thèse de doct. Lietuvos edukologijos universitetas, 2015. URL : <https://gs.elaba.lt/object/elaba:8646171/> (visité le 10/01/2023).
- [803] Stephen C VAN HEDGER et al. « Sleep consolidation of musical competence ». In : *Music Perception : An Interdisciplinary Journal* 33.2 (2015), p. 163-178.
- [804] Christina M. VANDEN BOSCH DER NEDERLANDEN et al. « Change detection in complex auditory scenes is predicted by auditory memory, pitch perception, and years of musical training ». en. In : *Psychological Research* 84.3 (avr. 2020), p. 585-601. ISSN : 1430-2772. DOI : 10.1007/s00426-018-1072-x. URL : <https://doi.org/10.1007/s00426-018-1072-x> (visité le 26/03/2022).
- [805] David L VANNETTE et Jon A KROSNICK. *The Palgrave handbook of survey research*. Springer, 2017.
- [806] WynnPaul VARELA, Philip C ABRAMI et Rena UPITIS. « Self-regulation and music learning : A systematic review ». en. In : *Psychology of Music* 44.1 (jan. 2016). Publisher : SAGE Publications Ltd, p. 55-74. ISSN : 0305-7356. DOI : 10.1177/0305735614554639. URL : <https://doi.org/10.1177/0305735614554639> (visité le 31/10/2022).
- [807] Esteban VÁZQUEZ CANO et al. « The Negative Effects of Technology on Education : A Bibliometric and Topic Modeling Mapping Analysis (2008-2019) ». eng. In : (avr. 2022). Accepted : 2022-04-22T10:58:49Z Publisher : Gate Association for Teaching and Education. DOI : 10.29333/ijte.2022.1523a. URL : <https://digibug.ugr.es/handle/10481/74468> (visité le 24/10/2022).
- [808] Maria VEDECHKINA et Francesca BORGONOV. « A Review of Evidence on the Role of Digital Technology in Shaping Attention and Cognitive Control in Children ». In : *Frontiers in Psychology* 12 (2021). ISSN : 1664-1078. URL : <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2021.611155> (visité le 29/10/2022).

- [809] Anne VEITL. « Notation écrite et musique contemporaine : quelles grandes caractéristiques des technologies numériques d'écriture musicale ? » In : *Journées d'Informatique Musicale*. 2007.
- [810] Anne VEITL. *Quelles ressources technologiques pour renouveler les pédagogies de la musique ?* fr-FR. Rapp. tech. France : Ministère de la culture et de la communication ; Direction de la musique, de la danse, du théâtre et des spectacles, 2001. URL : <https://www.culture.gouv.fr/Espace-documentation/Documentation-scientifique-et-technique/Publication> (visité le 12/12/2022).
- [811] Michele Della VENTURA. « From the Music Learning Process to its Effective Design ». en. In : *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)* 16.21 (nov. 2021). Number : 21, p. 13-25. ISSN : 1863-0383. DOI : 10.3991/ijet.v16i21.24273. URL : <https://online-journals.org/index.php/ijet/article/view/24273> (visité le 26/04/2023).
- [812] Peter VUUST et al. « Music in the brain ». In : *Nature Reviews Neuroscience* 23.5 (2022), p. 287-305.
- [813] Mikkel WALLENTIN et al. « The Musical Ear Test, a new reliable test for measuring musical competence ». en. In : *Learning and Individual Differences* 20.3 (juin 2010). Number : 3, p. 188-196. ISSN : 1041-6080. DOI : 10.1016/j.lindif.2010.02.004. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1041608010000233> (visité le 11/04/2021).
- [814] Kimberly C. WALLS. « Music performance and learning : The impact of digital technology ». In : *Psychomusicology : A Journal of Research in Music Cognition* 16 (1997). Place : US Publisher : The Florida State University, p. 68-76. ISSN : 2162-1535. DOI : 10.1037/h0094066.
- [815] Daniel A WALZER. « Music technology educators' use of andragogical principles for adult students using technology for learning ». In : *College Music Symposium*. T. 60. 1. JSTOR. 2020, p. 1-21.
- [816] Cecilia Chu WANG et David W SOGIN. « The recognition of melodic fragments as components of tonal patterns ». In : *Psychology of Music* 18.2 (1990), p. 140-149.
- [817] Yi-Hsuan WANG. « Exploring the effects of using various designs of game-based materials on music learning ». In : *Interactive Learning Environments* (2021), p. 1-15.
- [818] Xiao WANG, Lynn OSSHER et Patricia A REUTER-LORENZ. « Examining the relationship between skilled music training and attention ». In : *Consciousness and cognition* 36 (2015), p. 169-179.

- [819] Yixuan WANG. « Design of Vocal Music Self-study Assistant System Based on Android Technology ». en. In : *Innovative Computing*. Sous la dir. d'Yan PEI, Jia-Wei CHANG et Jason C. HUNG. Lecture Notes in Electrical Engineering. Singapore : Springer Nature, 2022, p. 916-922. ISBN : 978-981-19413-2-0. DOI : 10.1007/978-981-19-4132-0\_121.
- [820] Yixuan WANG. « Design of Vocal Music Self-study Assistant System Based on Android Technology ». en. In : *Innovative Computing*. Sous la dir. d'Yan PEI, Jia-Wei CHANG et Jason C. HUNG. Lecture Notes in Electrical Engineering. Singapore : Springer Nature, 2022, p. 916-922. ISBN : 978-981-19413-2-0. DOI : 10.1007/978-981-19-4132-0\_121.
- [821] Robert W. WASON. « Musica practica : music theory as pedagogy ». In : 2002. DOI : 10.1017/CHOL9780521623711.004.
- [822] John B WATSON. *Behaviorism*. Routledge, 1925.
- [823] Dan WATT. « Musical Microworlds : New Software Could Lead to a Breakthrough in Music Learning and Creativity ». en. In : *Popular Computing* 3.10 (1984). ERIC Number : EJ304491, p. 91. (Visité le 12/12/2022).
- [824] Robert J. WEBER et Suellen BROWN. « Musical Imagery ». en. In : *Music Perception* 3.4 (juill. 1986). Publisher : University of California Press, p. 411-426. ISSN : 0730-7829. DOI : 10.2307/40285346. URL : <https://online.ucpress.edu/mp/article/3/4/411/62704/Musical-Imagery> (visité le 17/03/2022).
- [825] Peter WEBSTER. « Computer-based technology and music teaching ». eng. In : *The new handbook of research on music teaching and learning : A project of the Music Educators National Conference, 2002, ISBN 0195138848, págs. 416-444*. Section : The new handbook of research on music teaching and learning : A project of the Music Educators National Conference. Oxford University Press, 2002, p. 416-444. ISBN : 978-0-19-513884-9. URL : <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4409565> (visité le 15/12/2022).
- [826] Peter R WEBSTER. « Construction of music learning ». In : *MENC handbook of research on music learning* 1 (2011), p. 35-83.
- [827] Peter R. WEBSTER. « Computer-based Technology and Music Teaching and Learning : 2000–2005 ». en. In : *International Handbook of Research in Arts Education*. Sous la dir. de Liora BRESLER. Springer International Handbook of Research in Arts Education. Dordrecht : Springer Netherlands, 2007, p. 1311-1330. ISBN : 978-1-4020-3052-9. DOI : 10.1007/978-1-4020-3052-9\_90. URL : [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3052-9\\_90](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3052-9_90) (visité le 15/12/2022).

- [828] Peter R. WEBSTER. « Key research in music technology and music teaching and learning ». fr. In : *Journal of Music, Technology & Education* 4.2-3 (fév. 2012). Publisher : Intellect, p. 115-130. ISSN : 1752-7066, 1752-7074. DOI : 10.1386/jmte.4.2-3.115\_1. URL : [https://intellectdiscover.com/content/journals/10.1386/jmte.4.2-3.115\\_1](https://intellectdiscover.com/content/journals/10.1386/jmte.4.2-3.115_1) (visité le 15/12/2022).
- [829] Aldis P. WEIBLE et al. « Perceptual Gap Detection Is Mediated by Gap Termination Responses in Auditory Cortex ». en. In : *Current Biology* 24.13 (juill. 2014). Number : 13, p. 1447-1455. ISSN : 0960-9822. DOI : 10.1016/j.cub.2014.05.031. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096098221400596X> (visité le 23/10/2021).
- [830] Guy WEIR, Victoria J. WILLIAMSON et Daniel MÜLLENSIEFEN. « Increased involuntary musical mental activity is not associated with more accurate voluntary musical imagery ». In : *Psychomusicology : Music, Mind, and Brain* 25.1 (2015). Place : US Publisher : Educational Publishing Foundation, p. 48-57. ISSN : 2162-1535. DOI : 10.1037/pmu0000076.
- [831] Guy WEIR, Victoria J. WILLIAMSON et Daniel MÜLLENSIEFEN. « Increased involuntary musical mental activity is not associated with more accurate voluntary musical imagery ». In : *Psychomusicology : Music, Mind, and Brain* 25.1 (2015). Place : US Publisher : Educational Publishing Foundation, p. 48-57. ISSN : 2162-1535. DOI : 10.1037/pmu0000076.
- [832] James V WERTSCH. « From social interaction to higher psychological processes. A clarification and application of Vygotsky's theory ». In : *Human development* 22.1 (1979), p. 1-22.
- [833] D. WEST. « Mobile Learning : Transforming Education, Engaging Students, and Improving Outcomes ». en. In : *undefined* (2013). URL : <https://www.semanticscholar.org/paper/Mobile-Learning%3A-Transforming-Education%2C-Engaging-West/7b44c8a6082d98d01c33f41f859c17ef73b7547d> (visité le 17/01/2022).
- [834] Darrell M WEST. « Mobile Learning : Transforming Education, Engaging Students, and Improving Outcomes ». en. In : (), p. 17.
- [835] Daniel WHITE et Seamus DELANEY. « Full STEAM Ahead, but Who Has the Map for Integration? – A PRISMA Systematic Review on the Incorporation of Interdisciplinary Learning into Schools ». en. In : *LUMAT : International Journal on Math, Science and Technology Education* 9.2 (2021). Publisher : LUMA Centre Finland ERIC Number : EJ1290383, p. 9-32. ISSN : 2323-7112. URL : <https://eric.ed.gov/?id=EJ1290383> (visité le 12/12/2022).

- [836] Roy WILL. « The history and development of musical dictation ». In : (1939). URL : <https://urresearch.rochester.edu/institutionalPublicationPublication?action=institutionalItemVersionId=18342> (visité le 09/04/2021).
- [837] WILLEMS EDGAR. *L'oreille musicale . 1 . La préparation auditive de l'enfant / Edgar Willems ; avant-propos de Jacques-Dalcroze*. fre. 3e édition en 1970, 4e édition en 1977, 5ème édition en 1985. L'Oreille musicale La préparation auditive de l'enfant. Fribourg : Pro Musica, 1965.
- [838] WILLEMS EDGAR. *L'oreille musicale . 2 . La culture auditive, les intervalles et les accords / Edgar Willems ; avant-propos de H. Gagnebin*. fre. Fribourg : Pro Musica, 1965.
- [839] Aaron WILLIAMON. « Memorising music ». In : *Musical Performance : A Guide to Understanding*. Sous la dir. de John RINK. Cambridge : Cambridge University Press, 2002, p. 113-126. ISBN : 978-0-521-78862-5. DOI : 10.1017/CB09780511811739.009. URL : <https://www.cambridge.org/core/books/musical-performance/memorising-music/B31DE119587DDCD30E10D9A> (visité le 23/02/2022).
- [840] David Brian WILLIAMS et Percy D PECKHAM. « The development of a computer simulation model for the investigation of music concept formation ». In : *Psychology of Music* 3.2 (1975), p. 37-54.
- [841] Henry H. WILMER, Lauren E. SHERMAN et Jason M. CHEIN. « Smartphones and Cognition : A Review of Research Exploring the Links between Mobile Technology Habits and Cognitive Functioning ». In : *Frontiers in Psychology* 8 (2017). ISSN : 1664-1078. URL : <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2017.00605> (visité le 27/10/2022).
- [842] Matthew A WILSON et Bruce L McNAUGHTON. « Reactivation of hippocampal ensemble memories during sleep ». In : *Science* 265.5172 (1994), p. 676-679.
- [843] George WINDHOLZ. « Ivan P. Pavlov : An overview of his life and psychological work. » In : *American Psychologist* 52.9 (1997), p. 941.
- [844] Patrick C. M. WONG et al. « Effects of Culture on Musical Pitch Perception ». en. In : *PLOS ONE* 7.4 (avr. 2012). Number : 4 Publisher : Public Library of Science, e33424. ISSN : 1932-6203. DOI : 10.1371/journal.pone.0033424. URL : <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0033424> (visité le 11/04/2021).

- [845] Wendy WOOD et Dennis RÜNGER. « Psychology of Habit ». In : *Annual Review of Psychology* 67.1 (2016). \_eprint : <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-122414-033417>, p. 289-314. DOI : 10 . 1146 / annurev - psych - 122414 - 033417. URL : <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-122414-033417> (visité le 15/03/2022).
- [846] Robert H. WOODY. « Explaining Expressive Performance : Component Cognitive Skills in an Aural Modeling Task ». en. In : *Journal of Research in Music Education* 51.1 (avr. 2003). Number : 1 Publisher : SAGE Publications Inc, p. 51-63. ISSN : 0022-4294. DOI : 10 . 2307 / 3345648. URL : <https://doi.org/10.2307/3345648> (visité le 14/05/2021).
- [847] Robert H. WOODY. « Playing by Ear : Foundation or Frill? » en. In : *Music Educators Journal* 99.2 (déc. 2012). Number : 2 Publisher : SAGE Publications Inc, p. 82-88. ISSN : 0027-4321. DOI : 10 . 1177 / 0027432112459199. URL : <https://doi.org/10.1177/0027432112459199> (visité le 14/05/2021).
- [848] Robert H. WOODY et Andreas C. LEHMANN. « Student Musicians' Ear-Playing Ability as a Function of Vernacular Music Experiences ». en. In : *Journal of Research in Music Education* 58.2 (juill. 2010). Number : 2 Publisher : SAGE Publications Inc, p. 101-115. ISSN : 0022-4294. DOI : 10 . 1177 / 0022429410370785. URL : <https://doi.org/10.1177/0022429410370785> (visité le 14/05/2021).
- [849] Lori WOZNEY, Vivek VENKATESH et Philip ABRAMI. « Implementing Computer Technologies : Teachers' Perceptions and Practices ». en. In : *Journal of Technology and Teacher Education* 14.1 (jan. 2006). Number : 1 Publisher : Society for Information Technology & Teacher Education, p. 173-207. ISSN : 1059-7069. URL : <https://www.learntechlib.org/primary/p/5437/> (visité le 05/01/2022).
- [850] Colin R. WRIGHT. *Aural and the University Music Undergraduate*. en. Google-Books-ID : Rua2DQAAQBAJ. Cambridge Scholars Publishing, déc. 2016. ISBN : 978-1-4438-4494-9.
- [851] Colin R. WRIGHT. *Aural and the University Music Undergraduate*. en. Google-Books-ID : Rua2DQAAQBAJ. Cambridge Scholars Publishing, déc. 2016. ISBN : 978-1-4438-4494-9.
- [852] Colin Richard WRIGHT. « being a Thesis submitted for the Degree of Doctor of Philosophy in the University of Hull ». en. In : (), p. 326.
- [853] Le Wu et al. « A Survey on Accuracy-oriented Neural Recommendation : From Collaborative Filtering to Information-rich Recommendation ». In : *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* (2022). Conference



- Name : IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, p. 1-1. ISSN : 1558-2191. DOI : 10.1109/TKDE.2022.3145690.
- [854] Françeska XHAKAJ, Vincent ALEVEN et Bruce M. McLAREN. « How Teachers Use Data to Help Students Learn : Contextual Inquiry for the Design of a Dashboard ». en. In : *Adaptive and Adaptable Learning*. Sous la dir. de Katrien VERBERT, Mike SHARPLES et Tomaž KLOBUČAR. Lecture Notes in Computer Science. Cham : Springer International Publishing, 2016, p. 340-354. ISBN : 978-3-319-45153-4. DOI : 10.1007/978-3-319-45153-4\_26.
- [855] Yilin XIAO et al. « Deep-Reinforcement-Learning-Based User Profile Perturbation for Privacy-Aware Recommendation ». In : *IEEE Internet of Things Journal* 8.6 (mars 2021). Conference Name : IEEE Internet of Things Journal, p. 4560-4568. ISSN : 2327-4662. DOI : 10.1109/JIOT.2020.3027586.
- [856] Sha XIONG. « Pédagogies actives et éducation musicale en Chine : le Nouveau Système en construction| Theses. fr ». Thèse de doct. Paris 4, 2015.
- [857] Sijia XUE et Helen CROMPTON. « Educational technology research during the COVID-19 pandemic ». In : *Interactive Technology and Smart Education* 21.1 (2024), p. 83-107.
- [858] Cornelia YARBROUGH, Harry E PRICE et Catherine HENDEL. « The effect of sequential patterns and modes of presentation on the evaluation of music teaching ». In : *Bulletin of the Council for Research in Music Education* (1994), p. 33-45.
- [859] Joanna Oi-Yue YAU et Gavan P McNALLY. « The Rescorla-Wagner model, prediction error, and fear learning ». In : *Neurobiology of Learning and Memory* 203 (2023), p. 107799.
- [860] David Scott YEAGER et Carol S DWECK. « Mindsets that promote resilience : When students believe that personal characteristics can be developed ». In : *Educational psychologist* 47.4 (2012), p. 302-314.
- [861] Burak YILMAZSOY, Mehmet KAHRAMAN et Utku KÖSE. « Negative Aspects of Using Social Networks in Education : A Brief Review on WhatsApp Example ». en. In : *Journal of Educational Technology and Online Learning* 3.1 (jan. 2020). Number : 1, p. 69-90. ISSN : 2618-6586. DOI : 10.31681/jetol.662746. URL : <https://dergipark.org.tr/en/pub/jetol/issue/52050/662746> (visité le 24/10/2022).

- [862] Yuliya N YONCHEVA et al. « Attentional focus during learning impacts N170 ERP responses to an artificial script ». In : *Developmental neuropsychology* 35.4 (2010), p. 423-445.
- [863] Kate A. YURGIL et al. « Music Training, Working Memory, and Neural Oscillations : A Review ». In : *Frontiers in Psychology* 11 (2020). ISSN : 1664-1078. URL : <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2020.00266> (visité le 07/06/2022).
- [864] Zamzami ZAINUDDIN et al. « The impact of gamification on learning and instruction : A systematic review of empirical evidence ». In : *Educational research review* 30 (2020), p. 100326.
- [865] Jean Mary ZARATE. « The neural control of singing ». In : *Frontiers in Human Neuroscience* 7 (2013). ISSN : 1662-5161. URL : <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnhum.2013.00237> (visité le 14/02/2022).
- [866] Wasim ZARGAR et Mustafa SABRI. « Impact of Social Media on Education with Positive and Negative Aspects ». In : *SSRN Electronic Journal* 8 (mars 2018), p. 145-153.
- [867] Franklin M ZAROMB, Jeffrey D KARPICKE et Henry L ROEDIGER III. « Comprehension as a basis for metacognitive judgments : Effects of effort after meaning on recall and metacognition. » In : *Journal of experimental psychology : learning, memory, and cognition* 36.2 (2010), p. 552.
- [868] Silvia ZARZOSO SALVADOR. *CIVAE2021, book publication*. Juill. 2021. ISBN : 978-84-09-29615-6.
- [869] Robert J ZATORRE et Jean Mary ZARATE. « Cortical processing of music ». In : *The human auditory cortex*. Springer, 2012, p. 261-294.
- [870] Robert J. ZATORRE. « Finding the missing fundamental ». en. In : *Nature* 436.7054 (août 2005). Number : 7054 Publisher : Nature Publishing Group, p. 1093-1094. ISSN : 1476-4687. DOI : 10.1038/4361093a. URL : <https://www.nature.com/articles/4361093a> (visité le 03/02/2022).
- [871] Robert J. ZATORRE et Andrea R. HALPERN. « Mental Concerts : Musical Imagery and Auditory Cortex ». en. In : *Neuron* 47.1 (juill. 2005), p. 9-12. ISSN : 0896-6273. DOI : 10.1016/j.neuron.2005.06.013. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0896627305005180> (visité le 17/03/2022).

- [872] Robert J. ZATORRE et Andrea R. HALPERN. « Mental Concerts : Musical Imagery and Auditory Cortex ». en. In : *Neuron* 47.1 (juill. 2005), p. 9-12. ISSN : 0896-6273. DOI : 10.1016/j.neuron.2005.06.013. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0896627305005180> (visité le 05/02/2023).
- [873] Michael S ZELENAK. « Development and validation of the music performance self-efficacy scale ». In : *Music Education Research International* 4.1 (2010), p. 31-43.
- [874] Marcel ZENTNER et Hannah STRAUSS. « Assessing musical ability quickly and objectively : development and validation of the Short-PROMS and the Mini-PROMS ». en. In : *Annals of the New York Academy of Sciences* 1400.1 (2017). \_eprint : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/nyas.13410>, p. 33-45. ISSN : 1749-6632. DOI : 10.1111/nyas.13410. URL : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/nyas.13410> (visité le 25/08/2022).
- [875] Marcel ZENTNER et Hannah STRAUSS. « Assessing musical ability quickly and objectively : development and validation of the Short-PROMS and the Mini-PROMS : Assessing musical ability ». en. In : *Annals of the New York Academy of Sciences* 1400.1 (juill. 2017). Number : 1, p. 33-45. ISSN : 00778923. DOI : 10.1111/nyas.13410. URL : <http://doi.wiley.com/10.1111/nyas.13410> (visité le 11/04/2021).
- [876] Marcel ZENTNER et Hannah STRAUSS. « Assessing musical ability quickly and objectively : development and validation of the Short-PROMS and the Mini-PROMS : Assessing musical ability ». en. In : *Annals of the New York Academy of Sciences* 1400.1 (juill. 2017). Number : 1, p. 33-45. ISSN : 00778923. DOI : 10.1111/nyas.13410. URL : <http://doi.wiley.com/10.1111/nyas.13410> (visité le 13/04/2021).
- [877] Fengjiao ZHANG et Mansor Bin Abu TALIB. « Orff-based Music Education : A Systematic Review of its Effects on Social Emotional Competence in Primary School Students ». In : *Educational Administration : Theory and Practice* 29.4 (2023).
- [878] Jin ZHANG et Jiawei WAN. « A summary of the application of artificial intelligence in music education ». In : *International Conference on education, economics and information management (ICEEIM 2019)*. Atlantis Press. 2020, p. 42-44.
- [879] <p>Tao ZHANG\*</p>. « Research on the Development Model and Value of Online Music Education App ». en. In : *Frontiers in Educational Research* 3.2 (mai 2020). Publisher : Francis Academic Press. DOI : 10.25236/FER.

- 2020.030212. URL : <http://francis-press.com/index.php/papers/1612#abstract> (visité le 10/01/2023).
- [880] Meili ZHOU et Tianzhuo GONG. « Optimization of Multimedia Computer-aided Interaction System of Vocal Music Teaching Based on Voice Recognition ». en. In : *Computer-Aided Design and Applications* (août 2020), p. 113-122. ISSN : 16864360. DOI : 10.14733/cadaps.2021.S2.113-122. URL : [http://cad-journal.net/files/vol\\_18/Vol18NoS2.html](http://cad-journal.net/files/vol_18/Vol18NoS2.html) (visité le 10/01/2023).
- [881] Keyi ZHU. « An Initial Exploration of New Approaches to Sight Singing and Ear Training Teaching in the Context of Artificial Intelligence ». In : *REVIEWS OF ADHESION AND ADHESIVES* 11.3 (2023).
- [882] Michael ZIESSLER, Dieter NATTKEMPER et Peter A FRENSCH. « The role of anticipation and intention in the learning of effects of self-performed actions ». In : *Psychological Research* 68 (2004), p. 163-175.
- [883] LianFeng ZOU. « Application of data mining technology in music curriculum resources ». In : *Journal of Physics : Conference Series*. T. 1533. 4. IOP Publishing. 2020, p. 042031.







# Index





# Table des matières

<b>Résumé</b>	<b>xvii</b>
<b>Remerciements</b>	<b>xix</b>
<b>Avant-propos</b>	<b>xxiii</b>
<b>Sommaire</b>	<b>xxv</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>xxxii</b>
<b>Table des figures</b>	<b>xxxiii</b>
<b>Introduction</b>	<b>xxxv</b>
<b>1 Apprentissage auditif dans l'enseignement musical</b>	<b>1</b>
1.1 Apprentissage auditif dans l'histoire de l'enseignement de la musique . . . . .	1
1.1.1 Guido d'Arezzo . . . . .	2
1.1.2 Le développement du solfège moderne . . . . .	3
1.1.3 Le développement de l'enseignement de la musique et du solfège en France . . . . .	4
1.1.4 Les apprentissages auditifs : le solfège et la dictée musicale	5
1.2 Apprentissage auditif dans les méthodes actives . . . . .	7
1.2.1 Méthode d'Émile Jaques-Dalcroze . . . . .	8
1.2.2 Méthode de Zoltán Kodály . . . . .	11
1.2.3 Méthode de Maurice Martenot . . . . .	13
1.2.4 Méthode de Carl Orff . . . . .	15
1.2.5 Méthode d'Edgar Willems . . . . .	18
1.2.6 Méthode de Shinichi Suzuki . . . . .	21
1.2.7 Méthode de Raymond Murray Schafer . . . . .	23
1.2.8 Influence des méthodes actives . . . . .	26
1.3 Formation auditive et musicale actuelle dans le monde . . . . .	28

1.3.1	La valeur de la formation auditive . . . . .	30
1.3.2	Problèmes et suggestions pédagogiques dans la littérature scientifique . . . . .	31
1.3.3	La problématique de la formation auditive . . . . .	36
1.3.4	Suggestions d'amélioration de la formation auditive dans la littérature . . . . .	37
1.4	Apprentissage auditif en France . . . . .	38
1.4.1	Apprentissage auditif en conservatoire . . . . .	38
1.4.2	Apprentissage auditif à l'université . . . . .	47
1.4.3	Enquête auprès d'étudiants de Sorbonne Université . . . . .	59
1.5	Récapitulatif . . . . .	65
<b>2</b>	<b>Usage du numérique pour l'apprentissage auditif</b>	<b>69</b>
2.1	Enseignement à l'ère du numérique . . . . .	69
2.1.1	L'éducation 4.0 . . . . .	70
2.1.2	Les outils pour l'éducation 4.0 . . . . .	73
2.1.3	Les effets négatifs du numérique dans l'enseignement . . . . .	83
2.2	Numérique dans l'enseignement de la musique . . . . .	86
2.2.1	Possibilités d'optimisation d'apprentissage . . . . .	88
2.2.2	Enseignement programmé . . . . .	90
2.2.3	Enseignement de la musique programmé et assisté par ordinateur en France . . . . .	92
2.2.4	Enseignement de musique assisté par ordinateur . . . . .	95
2.2.5	Outils numériques pour l'apprentissage musical . . . . .	100
2.2.6	Liste d'outils numériques d'apprentissage auditif disponibles en 2024 . . . . .	103
2.3	Évolution du numérique dans l'apprentissage auditif . . . . .	103
2.3.1	Data gathering . . . . .	106
2.3.2	Résultats . . . . .	108
2.3.3	Discussion . . . . .	128
2.3.4	Limitations de cette revue . . . . .	130
2.4	Applications du numérique dans l'apprentissage auditif en France	131
2.4.1	Point de vue des professeurs de conservatoire . . . . .	131
2.4.2	Point de vue des enseignants à l'université . . . . .	138
2.4.3	Point de vue des conseillers pédagogiques . . . . .	147
2.4.4	Point de vue des développeurs . . . . .	162
2.4.5	Point de vue des étudiants d'université . . . . .	176
2.5	Récapitulatif . . . . .	187

<b>3 Neuropédagogie dans l'apprentissage auditif</b>	<b>191</b>
3.1 Théories de l'apprentissage . . . . .	192
3.1.1 Développement historique des théories de l'apprentissage	193
3.1.2 Principales théories de l'apprentissage . . . . .	198
3.2 Les Piliers de l'apprentissage . . . . .	225
3.2.1 L'attention . . . . .	226
3.2.2 L'attention et la musique . . . . .	231
3.2.3 L'engagement actif . . . . .	234
3.2.4 Le retour sur erreur . . . . .	241
3.2.5 La consolidation . . . . .	250
3.2.6 Le numérique et l'apprentissage . . . . .	255
3.3 Perception et cognition musicale . . . . .	256
3.3.1 La perception auditive . . . . .	256
3.3.2 Le système auditif . . . . .	257
3.3.3 Le groupement perceptif . . . . .	260
3.3.4 Le rôle de la mémoire dans la perception musicale . . . . .	262
3.3.5 L'imagerie mentale . . . . .	268
3.4 Ergonomie cognitive . . . . .	270
3.4.1 Théorie de la charge cognitive . . . . .	272
3.4.2 Ergonomie du logiciel . . . . .	280
3.5 Gamification et jeux sérieux . . . . .	290
3.5.1 Base théorique de la gamification . . . . .	291
3.6 Récapitulatif . . . . .	294
<b>4 Nouvelle proposition numérique</b>	<b>299</b>
4.1 Lignes directrices pour une nouvelle proposition . . . . .	299
4.1.1 Une approche holistique aux apprentissages auditifs et musicaux . . . . .	300
4.1.2 Principes de conception d'un outil numérique d'apprentissages auditifs et musicaux . . . . .	307
4.2 Projet "Le Numérique pour l'Optimisation des Apprentissages Musicaux" (NOAM) . . . . .	317
4.2.1 Problématique . . . . .	317
4.2.2 Description du projet de recherche . . . . .	319
4.2.3 Modification des objectifs par rapport à la crise sanitaire . . . . .	320
4.3 Stage au Collegium Musicae . . . . .	322
4.3.1 Utilisation de la plateforme Moodle et H5P . . . . .	322
4.3.2 Logiciels utilisés pour le matériel . . . . .	325
4.3.3 Exemples d'exercices . . . . .	326
4.4 Élaboration d'exercices pour les apprentissages auditifs . . . . .	327
4.5 Récapitulatif . . . . .	335

---

<b>Conclusion</b>	<b>343</b>
Discussion et analyse des résultats . . . . .	343
Avantages et limitations de l'implémentation sur Moodle . . . . .	352
Perspectives de travaux futures . . . . .	354
<b>Bibliographie</b>	<b>359</b>
<b>Index</b>	<b>455</b>
<b>Table des matières</b>	<b>457</b>



### Résumé

Cette thèse propose une revue de l'état de l'art des applications pédagogiques pour la formation auditive dans l'enseignement supérieur et explore des stratégies d'optimisation potentielles pour ces applications. Nous avons effectué une analyse de la manière dont ces applications sont utilisées du point de vue des étudiants, des enseignants et des développeurs. L'objectif est d'identifier des stratégies pour optimiser le développement et l'utilisation de ces applications dans les programmes éducatifs. En particulier, nous avons étudié l'interaction entre la formation auditive, la technologie d'apprentissage, la cognition musicale et les théories de l'apprentissage. Notre recherche vise à combler l'écart entre les exigences pédagogiques de l'entraînement auditif et les avancées technologiques en menant une analyse multidisciplinaire. Nous traitons en premier lieu l'évolution historique de l'enseignement des compétences auditives, en commençant par retracer ses racines dans le solfège, en passant par la notation et la théorie musicales et en terminant par sa forme spécialisée actuelle en France. Les théories de l'apprentissage liées au développement des compétences auditives, à la cognition musicale et à l'apprentissage en ligne ont également été examinées. Après cette revue approfondie de la littérature, nous définissons des lignes directrices pour la conception d'applications pédagogiques pour la formation auditive. Nous complétons notre proposition par des exemples d'exercices qui utilisent ces lignes directrices pour améliorer les apprentissages. Enfin, nous présentons les résultats de notre approche expérimentale afin d'évaluer la pertinence de nos idées en tant qu'alternative innovante aux méthodes d'enseignement traditionnelles, en offrant de nouvelles perspectives sur la manière dont la technologie peut améliorer le processus d'apprentissage auditif. Plusieurs facteurs doivent cependant être pris en compte pour parvenir à optimiser ces applications : l'inclusion des théories d'apprentissage basées sur les neurosciences, la prise en compte des besoins spécifiques des enseignants et des étudiants et la mise en œuvre d'une approche pédagogique qui reflète la complexité du traitement auditif.

**Mots clés :** formation auditive, éducation musicale, environnement d'apprentissage virtuel enseignement assisté par ordinateur, neuropédagogie, apprentissage musical universitaire

---

**Abstract**

This thesis presents a review of the current state of learning applications for higher aural education and potential optimization strategies. An analysis of how these applications are used is conducted from the point of view of students, teachers, and developers. The goal is to identify ways to optimize the development and use of these applications in educational programs. In particular, we study the interaction between aural education, learning technology, music cognition, and learning theories. The research aims to bridge the gap between the educational requirements of aural training and technological advancements by conducting a multi-perspective analysis. The historical evolution of aural skills education was studied, starting from tracing its roots in "solfège", passing by its connection to music notation and theory, and finishing with its current specialized form in France. Learning theories related to auditory skills development, music cognition, and e-learning were also reviewed. After a deep review of the literature in the field, we define possible guidelines for designing aural learning applications for aural education. In addition, the thesis proposes sample exercises that utilize these guidelines for supporting learning. We conducted an experimental approach to evaluate our ideas as a novel alternative to traditional teaching methods, providing new perspectives on how technology can improve the aural learning process. However, several factors must be considered to achieve such optimization: include learning theories based on neuroscience, consider the specific requirements of teachers and students, and implement a pedagogical approach that reflects the complexity of auditory processing. Finally, we want to emphasize that instructors, students, developers, and institutions must engage in robust dialogue to create a more inclusive educational environment using digital applications.

**Keywords:** ear training, aural education, virtual learning environment (vle), computer assisted instruction (cai), neuropedagogy, higher music learning

---