faculté PsySEF | Université de Lille

département des Sciences de l'éducation et de la Formation

Master Sciences Humaines et Sociales

mention **Sciences de l'Éducation et de la Formation**

parcours **Ingénierie Pédagogique Multimodale (IPM)**

Neurosciences cognitives et ingénierie pédagogique multimodale : concevoir, mesurer et adapter un dispositif e-learning face à la variabilité inter-individuelle des professionnels du spectacle vivant.

Mémoire soutenu le 2 juin 2026

par **Agnès LOTHE**

Directeur de mémoire : Anthony CHERBONNIER, Maître de Conférences en sciences de l'éducation et de la formation

Tuteur entreprise : Benoît Lambert, head of digital learning

Contexte du mémoire professionnel :

Conservatoire augmenté (CNSMDP) 8 avenue du nouveau conservatoire 75019 PARIS

Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification

RÉSUMÉ

Ce mémoire se consacre à l'exploration de l'optimisation de l'apprentissage dans le domaine du spectacle vivant à travers le prisme des neurosciences cognitives. Il aborde la gestion de la variabilité inter-individuelle dans la conception de dispositifs de formation au sein du Conservatoire national supérieur de musique et de danse de Paris. L'objectif est d'analyser l'impact sur les apprenants d'un dispositif d'apprentissage en distanciel asynchrone de manière objective et subjective afin d'optimiser les choix de conception pédagogique.

La méthodologie combine les principes de l'ingénierie pédagogique multimodale avec des mesures de la charge cognitive ainsi que le vécu émotionnel de l'apprenant : une mesure objective via le coût cognitif (tâche secondaire) et des mesures subjectives via l'échelle de Paas et le questionnaire AttrakDiff. Ce protocole a été appliqué à un panel d'apprenants, professionnels de la musique, à la variabilité inter-individuelle forte pour évaluer l'impact de scénarisation sur la charge cognitive.

Les résultats mettent en évidence que le dispositif répond globalement aux attentes des apprenants. La perception de la charge cognitive induite par le dispositif varie significativement d'un apprenant à l'autre, mais est rarement élevée. L'efficience relative aux conditions de formation est également très variable selon les apprenants.

L'analyse des résultats amène à penser qu'un dispositif de formation unique ne serait pas idéal pour tous les apprenants et qu'une plateforme optimale nécessiterait d'être adaptable au profil de l'apprenant. La variabilité inter-individuelle est un levier permettant de remettre en question les choix didactiques et pédagogiques afin de trouver des solutions à une ingénierie plus adaptative permettant de réaliser des formations personnalisées et adaptées à chacun.

Mots-clés : ingénierie pédagogique, neurosciences, charge cognitive, variabilité inter-individuelle, conservatoire de musique et de danse de Paris.

ABSTRACT

This dissertation explores the optimization of learning in the performing arts through the lens of cognitive neuroscience. It addresses the management of inter-individual variability in the design of training systems within the Conservatoire national supérieur de musique et de danse de Paris. The goal is to analyze the impact on learners of an asynchronous distance learning system in both an objective and subjective manner, in order to optimize pedagogical design choices.

The methodology combines the principles of multimodal instructional engineering with measures of cognitive load as well as the learner's emotional experience: an objective measure via cognitive cost (secondary task) and subjective measures via the Paas scale and the AttrakDiff questionnaire. This protocol was applied to a panel of learners — music professionals with high inter-individual variability — to evaluate the impact of instructional sequencing on cognitive load.

The results highlight that the system broadly meets learners' expectations. The perception of cognitive load induced by the system varies significantly from one learner to another, but is rarely high. Efficiency relative to training conditions is also highly variable across learners.

The analysis of the results leads us to believe that a single training system would not be ideal for all learners, and that an optimal platform would need to be adaptable to the learner's profile. Inter-individual variability is a lever that allows pedagogical and didactic choices to be called into question, in order to find solutions for a more adaptive engineering approach enabling the creation of personalized training tailored to each individual.

Keywords: instructional engineering, neuroscience, cognitive load, inter-individual variability, Conservatoire de musique et de danse de Paris.

AVANT PROPOS

Mon parcours professionnel a débuté par une licence en audiovisuel et multimédia, où je me suis spécialisée dans le montage vidéo et l'animation. Par la suite, j'ai intégré la fonction publique en tant que professeure des écoles, ma première expérience dans le domaine pédagogique. Ma passion pour les arts m'a orientée vers la danse, plus précisément la comédie musicale que j'ai commencé à exercer en tant qu'artiste pluridisciplinaire. J'ai complété ce nouveau parcours en obtenant mon diplôme de professeure de danse jazz, combinant ainsi l'artistique et la pédagogie et la pratique de la danse inclusive.

La période de la COVID-19 a engendré une profonde remise en question dans le milieu des arts, incitant de nombreux professeurs de danse à se réorienter. De mon côté, ma réflexion s'est portée sur l'envie d'approfondir mes connaissances en pédagogie. Je me suis donc mise en quête d'une formation répondant à mes attentes. Le Master IPM s'est rapidement imposé comme une évidence, car il conjugue harmonieusement technique, créativité et pédagogie. Mon projet professionnel se dessine dans mon idéal comme une double activité : être à la fois professeure de danse, afin de garder un lien avec cet art dans un contexte moins soutenu qu'actuellement et ingénieure pédagogique.

Ce mémoire de Master 2 s'inscrit dans le cadre d'un stage de fin d'études réalisé au sein du conservatoire augmenté, filiale du Conservatoire national supérieur de musique et de danse de Paris (CNSMDP). Ma mission principale consiste à intégrer des modules de formation continue, à partir d'un contenu d'expert, destinés à l'ensemble des acteurs du spectacle vivant via Rise. Mon parcours, initialement comme danseuse puis comme professeure de danse, m'a permis de comprendre le fondement des corrections pédagogiques reçues. Dans la continuité de cette démarche, ce nouveau cursus m'a incitée à explorer les neurosciences afin d'approfondir ma compréhension des mécanismes d'apprentissage.

Afin de rendre compte de cette réflexion et des travaux menés durant ce stage, ce mémoire s'organise en trois temps.
Dans la première et deuxième partie, je présenterai le cadre institutionnel du Conservatoire national supérieur de musique et de danse de Paris initiateur du projet "conservatoire augmenté" au sein duquel j'effectue mon stage puis la mission qui m'a été confiée ainsi que les missions secondaires.

La troisième partie constitue l'aspect théorique de ma recherche. Je croiserai les connaissances apportées tout au long du master IPM avec les neurosciences, appuyant la compréhension du fonctionnement du cerveau et de l'apprentissage au niveau technique.
La quatrième, cinquième et sixième partie regroupent l'ingénierie mise en place au travers les recherches du cadre théorique ainsi que le protocole de test mis en place et l'analyse des résultats obtenus.

Note sur l'IA

Une conférence donnée par Lucie Dhorne au salon de l'e-learning, basé sur les travaux de Kosmyna et al. (2025), qui, bien que non encore validés académiquement, m'ont poussé à réfléchir sur l'utilisation de l'IA dans l'élaboration de ce projet. La conclusion de cette étude stipule que, bien que les outils IA génératifs (LLM : Large Language Model) offrent des opportunités d'apprentissage, ils ont un impact sur le développement cognitif, la pensée critique et l'indépendance intellectuelle. Les réponses données par les LLM sont des réponses de probabilités, influencées par des actionnaires du LLM. De plus, la finalité du travail devient moins satisfaisante lorsqu'il est généré par un LLM. Pour le moment, les études ne permettent pas de déterminer un impact globalement positif sur le cerveau humain.
Pour ce mémoire j'ai choisi d'utiliser l'IA dans un contexte très restreint : l'utilisation de Notebook LM me permettant d'avoir un résumé des articles afin que la lecture soit plus efficace. En effet, débuter par un propos résumé permet de faciliter la compréhension lors de la lecture intégrale. Les recherches ont été en majorité effectuées via des moteurs de recherche. Cependant, pour sortir d'impasses, j'ai parfois demandé à l'IA de me suggérer des lectures. Sachant que l'IA invente certaines choses, les références données ont toujours été vérifiées et lues intégralement lorsqu'elles s'avéraient intéressantes pour mon sujet. La reformulation des propos n'a presque pas été utilisée, 99% du mémoire a été rédigé manuellement.
Les IA génératives posent également, à mon sens, des problèmes d'équité, par un coût qui peut rapidement devenir inaccessible à certains apprenants, creusant ainsi un écart social.
Les traductions de passages anglais complexes ont été réalisées par Reverso. Outre l'envie d'aboutir ce travail par moi-même, la question de l'environnement et l'utilisation de l'IA est un sujet qui me touche particulièrement. Les data centers sont de plus en plus nombreux et consomment beaucoup d'énergie à un stade où il est indispensable que nos ressources soient utilisées avec parcimonie.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Anthony Cherbonnier, directeur de mémoire, pour son accompagnement dans la réalisation de ce mémoire. Sa bienveillance, sa disponibilité et ses encouragements ont été une source de motivation qui m'a permis d'aller au bout de ce projet. Ses remarques constructives et son guidage m'ont permis de progresser, de continuer d'apprendre et d'évoluer dans ma réflexion.

Mes remerciements s'adressent tout particulièrement à Benoît Lambert pour son accueil au sein du conservatoire augmenté et son accompagnement : je lui suis profondément reconnaissante de tout ce qu'il m'a apporté, la confiance qu'il m'a accordée et de m'avoir intégré dans divers projets me permettant de balayer nombreux aspects du métier d'ingénieur pédagogique.

Merci à l'équipe du conservatoire augmenté pour son accueil et son partage de compétences. Au-delà de l'apprentissage technique, j'ai été sensible à la bienveillance et gentillesse de l'équipe ainsi qu'à la confiance qui m'a été témoignée tout au long de ce stage.

Je souhaite remercier aussi mon mari, mes parents, mes amis, particulièrement Arnaud, et les "Mess" pour le soutien que j'ai reçu, la patience dont ils ont fait preuve, l'aide qu'ils m'ont apportée et leurs encouragements face à cette période intense de reconversion professionnelle.

Merci aux professionnels de la musique qui m'ont accordé de leur temps pour les tests, malgré leurs emplois du temps chargés, et qui m'ont aidée via leur réseau, me permettant de constituer un échantillon varié de professionnels de la musique.

Merci à Erika et Benoît pour leur encadrement humain et bienveillant durant ce master.

Enfin, je remercie mes collègues de promo, dont Eva avec qui j'ai traversé tous les projets, avec lesquels on s'est serré les coudes pour cette aventure partagée. Une pensée toute particulière s'adresse à Gilliane : malgré la distance physique qui nous sépare, sa présence et son soutien ont été indispensables. Vous avez été des repères qui m'ont permis de ne pas abandonner en cours de route.

TABLE DES MATIÈRES

AVANT PROPOS.....
REMERCIEMENTS.....
TABLE DES MATIÈRES.....
LISTE DES SIGLES.....
1. Le contexte..... 1
1.1. Le Conservatoire national supérieur de musique et de danse de Paris (CNSMDP)... 1
1.2. Le conservatoire augmenté..... 1
1.3. Le paysage concurrentiel..... 4
2. La mission..... 5
2.1. Production de formations..... 5
2.2. Les missions complémentaires..... 6
2.2.1. Tests LMS (Learning Management System)..... 6
2.2.2. La charte pédagogique et graphique des formations..... 8
2.2.3. Une activité sur Storyline..... 9
2.2.4. Création des templates..... 10
2.2.5. Intégration de code..... 11
2.2.6. Tournages et vidéos..... 11
2.3. Problématique..... 11
3. Cadre théorique..... 12
3.1. Les neurosciences..... 12
3.1.1. Historique..... 12
3.1.2. Le fonctionnement de notre cerveau..... 13
3.2. Les 4 piliers de l'apprentissage de Dehaene..... 15
3.2.1. L'attention..... 15
3.2.2. L'engagement actif..... 20
3.2.3. Le retour sur erreur : importance de la rétroaction (feedback)..... 21
3.2.4. consolidation..... 25
3.3. La plasticité cérébrale comme fondement de l'inter-individualité..... 26
3.3.1. Le fonctionnement mémoriel..... 26
3.3.2. Plasticité et variabilité..... 29
3.4. L'apprentissage multimédia et la charge cognitive..... 31
3.4.1. La charge cognitive et le double codage..... 31
3.4.2. L'apprentissage multimédia : les principes de Mayer..... 34
3.5. L'ergonomie..... 36
3.5.1. Les critères de Bastien et Scapin..... 36
3.5.2. Le design émotionnel..... 37
4. Ingénierie mobilisée..... 38
4.1. Le modèle d'ingénierie..... 39
4.2. La conception d'une formation accompagné des heuristiques de Scapin..... 40
4.3. La conception d'une formation accompagnée des neurosciences..... 45

5. Evaluation du dispositif..... 52
5.1. Participants..... 52
5.2. Protocole..... 53
5.3. Matériel..... 54
5.4. Analyse des données..... 57
6. Résultats..... 59
6.1. La mesure de la double tâche..... 59
6.2. L'échelle de Paas et l'efficience..... 62
6.3. AttrakDiff..... 65
6.4. Concordances et particularités..... 69
7. Discussion..... 70
8. Conclusion..... 74
ANNEXE 1 : Arborescence de formation..... 76
ANNEXE 2 : Les templates sous ScormStack..... 77
ANNEXE 3 : Bloc code..... 78
ANNEXE 4 : tournages..... 81
ANNEXE 5 : Les 9 façons de réduire la charge cognitive en multimédia..... 82
ANNEXE 6 : la formation musescore..... 83
ANNEXE 7 : Exemple activité stimulant le circuit de dopamine..... 87
ANNEXE 8 : Participants..... 88
ANNEXE 9 : Protocole, accueil et consignes..... 91
ANNEXE 10 : Résultats mesure de la double tâche..... 93
ANNEXE 11 : Tableau de relevé des mesures de la charge cognitive subjective..... 94
ANNEXE 12 : Calcul des z scores..... 97
ANNEXE 13 : Calcul de l'efficience..... 99
ANNEXE 14 : Résultats AttrakDiff..... 100
BIBLIOGRAPHIE..... 103

LISTE DES SIGLES

CSFI : chambre syndicale de la facture instrumentale

CMS : content management system

CNSMDP : Conservatoire national supérieur de musique et de danse de Paris

IPM : Ingénierie pédagogique multimodale

IRMf : imagerie par résonance magnétique fonctionnelle cérébrale

LLM : Large Language Model

LMS : learning management system

MISCA : message implementation student context agent

MIT : Massachusetts institute of technology

SACEM : Société des auteurs, compositeurs et éditeurs de musique

SME : subject matter expert

Scorm : sharable content object reference model

UX : user experience

1. Le contexte

1.1. Le Conservatoire national supérieur de musique et de danse de Paris (CNSMDP)

Le Conservatoire national supérieur de musique et de danse de Paris a été fondé en 1795. Il est le premier établissement public français dédié à la transmission des arts musicaux et chorégraphiques. Il occupe une place d'excellence étant classé au sixième rang mondial (QS World University Rankings, 2026).

Le CNSMDP est un pôle d'enseignement supérieur artistique spécialisé dans la formation professionnelle de haut niveau en musique et en danse. Il prépare aux métiers d'interprète, de créateur, de pédagogue, de chercheur ainsi qu'aux métiers du son et de l'image. L'établissement contribue au rayonnement artistique et culturel de la France à l'échelle nationale et internationale. Le Conservatoire mène une politique de création, de recherche et d'ouverture aux publics. Il propose une programmation de concerts, spectacles de danse, conférences, cours et colloques gratuits et ouverts à tous. L'établissement accueille près de 1 400 étudiants. (CNSMDP, s. d.)

Le CNSMDP est un établissement public à caractère administratif placé sous la tutelle du Ministère de la culture (Décret n° 2009-201, 2009). Il est dirigé actuellement par Emilie Delorme qui a été reconduite dans ses fonctions pour un troisième mandat à la tête de l'établissement sur proposition du conseil d'administration, et par arrêté de la ministre de la Culture en date du 2 décembre 2025. (CNSMDP, s. d.)

1.2. Le conservatoire augmenté

Issu d'une initiative privée du CNSMDP et lauréat du programme national France 2030 «Compétences et Métiers d'Avenir», le conservatoire augmenté a été spécifiquement conçu pour répondre aux défis actuels du secteur. Un budget de 5 millions d'euros a été alloué pour ce projet. Face à la transition technologique, adopter et inventer de nouveaux usages du numérique et des technologies immersives est devenu essentiel pour les professionnels de la musique, faisant de cet outil une réponse stratégique aux enjeux de notre époque (Conservatoire Augmenté, 2024).

Le conservatoire augmenté (2024) est structuré autour de trois projets : un campus en ligne, un site de ressources et un studio d'enregistrement audiovisuel.

Le campus en ligne est une plateforme d'enseignement totalement asynchrone et à distance permettant d'élargir et diversifier les publics du conservatoire. Cette plateforme favorise la formation continue des professionnels du secteur du spectacle vivant.
Le site de ressources dédiées aux sujets liés à la musique, à la danse, au son et plus largement à la vie artistique et professionnelle du spectacle vivant mettra à disposition du public les contenus du CNSMDP mais aussi ceux d'institutions partenaires ainsi que des ressources et outils créés spécifiquement pour le site de ressources.
Le studio d'enregistrement audiovisuel à la pointe des technologies immersives est destiné à un usage mixte : 50% pour la pédagogie et la recherche du CNSMDP et 50% pour les artistes et labels.

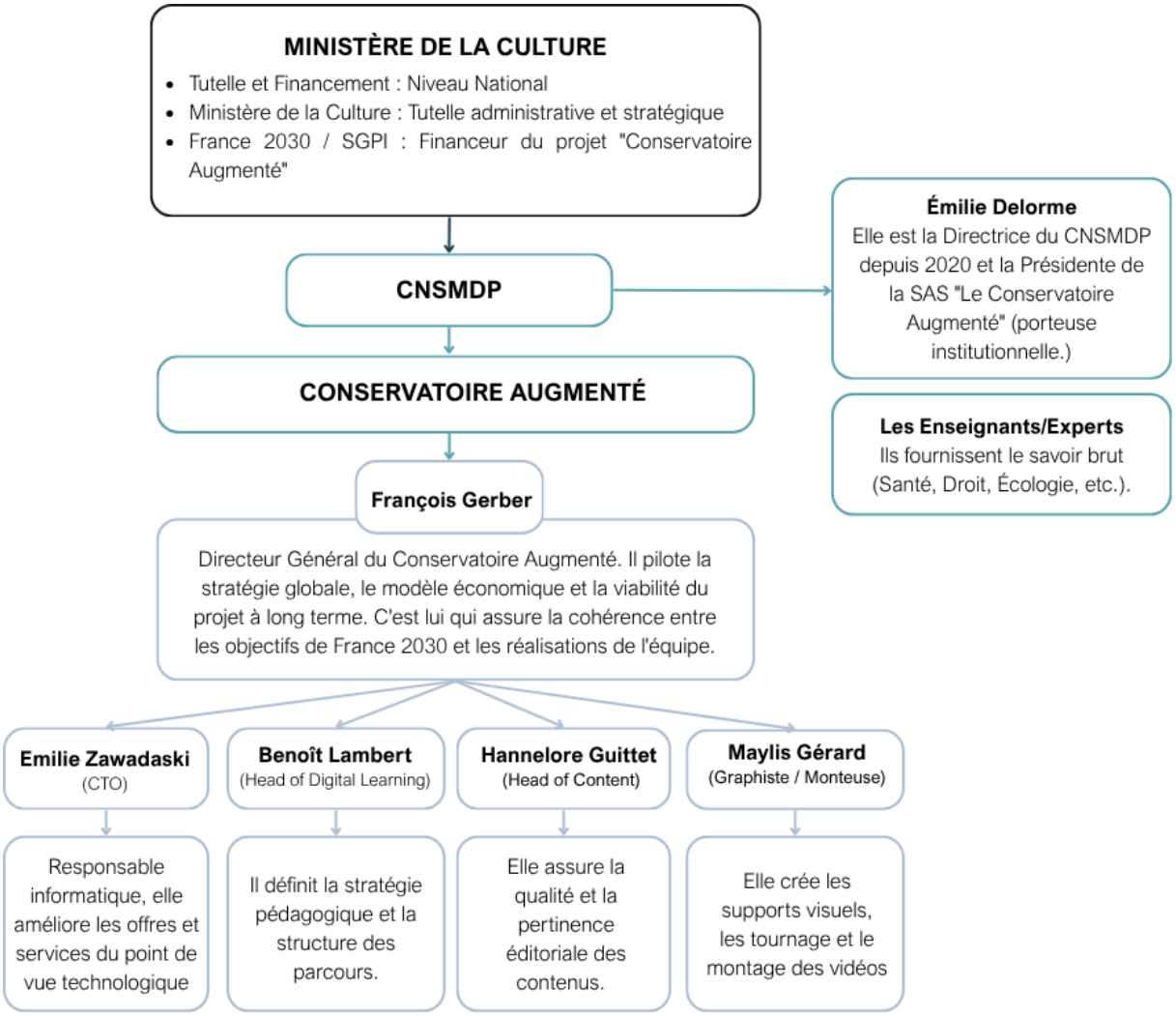
Ces éléments font émerger les objectifs du projet du conservatoire augmenté qui souhaite accompagner tous les acteurs du spectacle vivant dans la transition numérique, diversifier les publics du CNSMDP en ouvrant un espace disponible en ligne. Cela permettra d'expérimenter de nouvelles modalités d'enseignement et de favoriser le rayonnement international du CNSMDP. Ce projet vise à structurer une offre de formation continue d'excellence pour l'ensemble de la filière culturelle.

Une équipe a été mandatée par le CNSMDP pour développer le conservatoire augmenté et un conseil d'administration, composé de membres issus du conservatoire, du ministère de la Culture et des principaux soutiens au projet comme la SACEM ou la Caisse des Dépôts et Consignation, est chargé de superviser le projet.
Le conservatoire augmenté est dirigé par François Gerber, chargé de la stratégie globale de développement. Son équipe au sein du conservatoire augmenté est complétée par quatre personnes.

Benoît Lambert, responsable de l'apprentissage numérique, dirige l'ingénierie éducative du Campus en ligne et s'assure que les outils numériques utilisés sont pédagogiquement efficaces. Il est chargé de la gestion administrative de la certification des formations, il met en place le LMS (Learning Management System) qui permettra aux apprenants d'accéder aux formations. Emilie Zawadaski, responsable informatique, chargée de la mise en place technique du site (plateforme de ressources et campus en ligne). Hannelore Guittet, responsable éditoriale, gère la création, la production et la sélection des ressources pour le Campus en ligne et la plateforme de ressources. Elle garantit la qualité éditoriale et la pertinence des contenus. Maylis Gérard, graphiste, s'occupe de toute la dimension visuelle des formations, incluant les tournages, le montage vidéo et le graphisme.

La figure 1 reprend de manière synthétique l'organisation institutionnelle et hiérarchique du projet du conservatoire augmenté au cœur de la mission.

Figure 1 : *organigramme de l'organisation du projet du conservatoire augmenté*



L'organisation au sein du conservatoire augmenté est collaborative et structurée en différents espaces de travail. Les bureaux sont situés au dernier étage des résidences étudiantes du CNSMDP. L'espace comprend un open-space favorisant les échanges au sein de l'équipe, un espace de réunion permettant les meetings avec les interlocuteurs extérieurs ou les réunions d'équipe hebdomadaires et un espace fermé afin de réaliser des réunions en équipe réduite ou avec les partenaires extérieurs comme par exemple les experts métier.

1.3. Le paysage concurrentiel

Le paysage concurrentiel peut être découpé en trois groupes distincts : les écoles académiques de renommée internationale, les institutions formant aux compétences concrètes du secteur et les plateformes de formation dédiées aux formations continues.

Les concurrents historiques du CNSMDP sont principalement The Juilliard School, la Royal Academy of Music, la Universität für Musik und darstellende Kunst Wien et le Royal Conservatoire of Scotland. Leur défi est de réussir leur mutation numérique sans perdre leur aura d'exclusivité.
The Juilliard School propose,grâce à son extension, des cours en ligne et en présentiel pour un plus large public (The Juilliard School, s. d.). Quel que soit le lieu de résidence de l'apprenant, celui-ci peut suivre une formation asynchrone dans différents domaines : musique (composition, direction, technique, instruments…), danse et théâtre.
Le Royal Conservatoire of Scotland (s. d.) propose également des formations en présentiel et en ligne spécifiquement dédiées aux adultes. Ces formations permettent de développer les compétences tout en étant actif dans le milieu professionnel.
Pour le Royal academy of Music (Royal Academy of Music, s. d.), situé à Londres et la Universität für Musik und darstellende Kunst (Universität für Musik und darstellende Kunst Wien, s. d.) à Vienne, les dispositifs disponibles en ligne concernent plutôt des échanges entre étudiants ayant pour but de favoriser les échanges internationaux, ainsi que des cours de perfectionnement.

Les institutions proposant des formations qui favorisent la flexibilité des parcours d'apprentissage et une adaptation continue aux outils numériques sont également en concurrence avec le CNSMDP. On retrouve parmis ces institutions l'Institut National de l'Audiovisuel (Institut National de l'Audiovisuel, s. d.), l'école des Gobelins (Gobelins l'école de l'image, s. d.), le Centre National de la Musique de Paris (Centre National de la Musique, s. d), l'Ircam (Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique [IRCAM], s. d.**)** et Berklee Online (Berklee College of Music, s. d.) qui proposent, chacun dans leur domaine, des formations continues dont certaines sont certifiantes.

Des plateformes de formations sont aussi disponibles comme par exemple Elephorm (s. d.), une plateforme de formation pour se former à des logiciels logiciels créatifs, à la technique web, au développement personnel et aux compétences business. Il existe aussi LinkedIn Learning ou Skillshare qui sont des plateformes proposant des contenus généralistes.

2. La mission

2.1. Production de formations

Le conservatoire augmenté est une entreprise créée fin 2023. Le site sera disponible au public à partir de septembre 2026. Actuellement, l'entreprise est en phase de développement itératif et de conception technique. Des échanges réguliers ont lieu avec l'équipe et les prestataires chargés de la conception de la marque, de l'UX (expérience utilisateur) et du développement mais aussi avec l'équipe d'ingénierie pédagogique du CNSMDP qui crée, de son côté, avec les mêmes outils et charte pédagogique, des formations destinées à être mises en ligne sur la plateforme.

Les formations sont découpées en plusieurs unités dont l'arborescence est en annexe 1. Une formation se compose de parties, découpées en chapitres, eux-mêmes découpés en leçons. A la fin de chaque chapitre, les apprenants ont un quiz formatif et un récapitulatif. Chaque fin de formation comprend une évaluation finale. Chaque formation est exportée en xAPI afin de pouvoir mettre la formation sur le LMS (learning management system) du conservatoire. Le LMS permet de récupérer les données de formation des apprenants notamment leur taux de réussite ou non.

La mission confiée par Benoît Lambert durant cette période de stage consiste à intégrer des formations à partir d'un contenu fourni par un expert métier (SME : subject matter expert). Au démarrage, un planning prévisionnel est établi et comprend cinq formations dont l'intégration est répartie entre décembre 2025 et mai 2026. Deux formations ont pour domaine la transition écologique, deux autres la vie professionnelle et la dernière les outils numériques. Cette première étape m'a permis de comprendre comment l'ingénierie pédagogique est intégrée dans le projet global. Celle-ci est déployée au sein du CNSMDP en s'articulant autour de la production de parcours de formation asynchrones, intégrés initialement via l'outil Rise 360 et déployés sur un LMS : LearnDash. Ce processus vise à transformer des expertises métiers en dispositifs d'apprentissage fluides e-learning efficaces, dont la durée varie de 2h à 20h.

Le cycle de conception débute par une phase de cadrage s'appuyant sur une fiche formation. Ce document permet de traduire les enjeux transversaux du spectacle vivant (santé, musicologie, danse, transition numérique son, vie professionnelle et transition écologique) en objectifs opérationnels précis. La première partie de la mission s'articule autour de rencontres avec les experts, en binôme avec le responsable du Digital Learning, afin de développer un contenu brut qui servira de base de travail. Ces rencontres demandent

de savoir communiquer avec l'expert métier, le guider et être pédagogue pour l'amener sereinement à écrire le contenu de formation en respectant le cadre mis en place. La collaboration avec l'expert métier constitue la fondation de la formation via l'élaboration d'une grille pédagogique et d'un document PowerPoint. La grille pédagogique permet de structurer les ressources brutes au niveau macro, c'est-à-dire au niveau le plus global. Le document Powerpoint contient tout le contenu de formation organisé selon la grille pédagogique afin de passer au niveau micro, en répondant à l'arborescence des formations du campus.

La phase de scénarisation représente le cœur de l'intervention en ingénierie pédagogique. Elle consiste à choisir et à paramétrer des activités interactives capables de favoriser l'engagement actif. Une gestion rigoureuse de la charge cognitive est indispensable pour ce travail. Cela implique de sélectionner et d'articuler les activités et les contenus avec fluidité, afin de garantir un rendu professionnel à la hauteur de l'image prestigieuse de l'école. Afin de se familiariser avec l'identité pédagogique, la première tâche réalisée consistait à suivre une formation en ligne sur la santé auditive. Le but étant d'analyser cette formation avec un œil d'ingénieur pédagogique afin d'intégrer les mécanismes utilisés. La première formation à scénariser et intégrer concerne la facture instrumentale dans la transition écologique. Ce travail d'intégration sera plus amplement développé dans la partie 4.

2.2. Les missions complémentaires

2.2.1. Tests LMS (Learning Management System)

En parallèle de la mission initiale, l'équipe a dû effectuer d'autres tâches attenant au métier d'ingénieur pédagogique, dont celui de la gestion du LMS. La plateforme, étant en phase de tests, nécessite des ajustements et vérifications afin d'optimiser la navigation de l'apprenant dans la formation. La plateforme LearnDash, plugin pour le CMS WordPress permet la création de dispositifs de formation très personnalisables tout en offrant la possibilité de les intégrer dans le reste du site. Les tests sont réalisés en collaboration avec l'équipe technique et une entreprise prestataire en développement web.

Le site propose un catalogue de formations. À l'intérieur de ce catalogue, les formations sont triées par thème (vie professionnelle, transition écologique….) En sélectionnant une formation, l'utilisateur arrive sur une page de présentation contenant un teaser vidéo, le chapitrage et un résumé de la formation. Pour s'inscrire il suffit de cliquer sur un bouton "s'inscrire à cette formation" et de commencer la formation.

À l'intérieur de la formation, une barre de navigation sur la gauche permet d'accéder aux chapitres (fig 2). Le reste de la page présente une introduction au chapitre sélectionné ainsi qu'un bouton "ouvrir le chapitre" ouvrant un nouvel onglet dans le navigateur (fig 3). Un bouton situé en fin de chapitre permet de fermer l'onglet pour revenir à la page de sélection des différents chapitres. Afin de pouvoir récupérer la progression de l'apprenant dans son espace personnel, le menu principal de la page est géré par le LMS. En effet, cela permet à l'apprenant d'avoir accès à sa progression dans son espace personnel ainsi que sur la page d'accueil de la formation en cours.

***Figure 2** : screenshot de la navigation au coeur du LMS - à gauche le menu généré par Learndash, la présentation du chapitre réalisée dans Learndash et le bouton "ouvrir le chapitre" qui dirige vers une nouvel onglet iframe de l'xAPI du chapitre.*

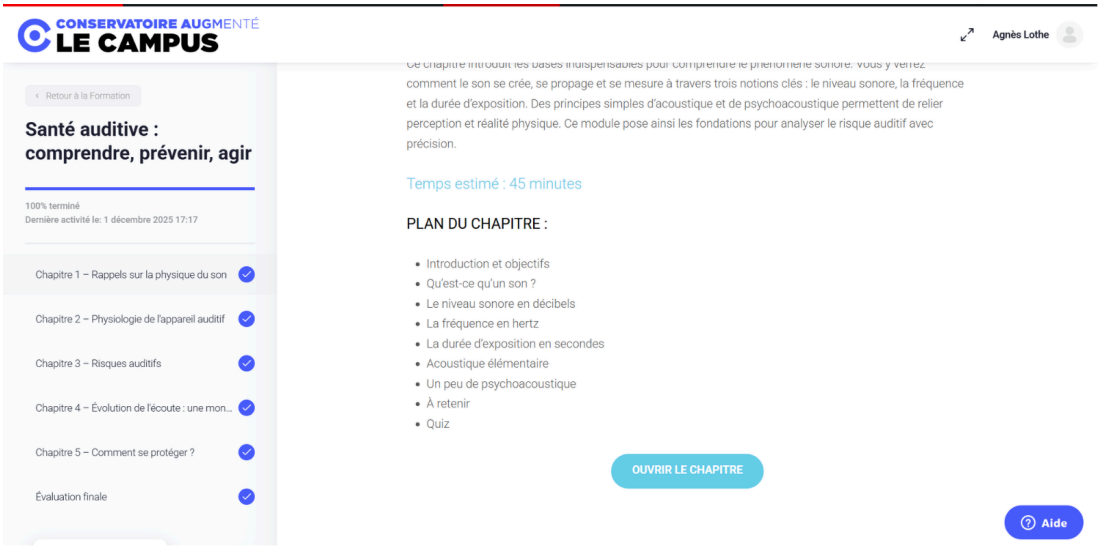
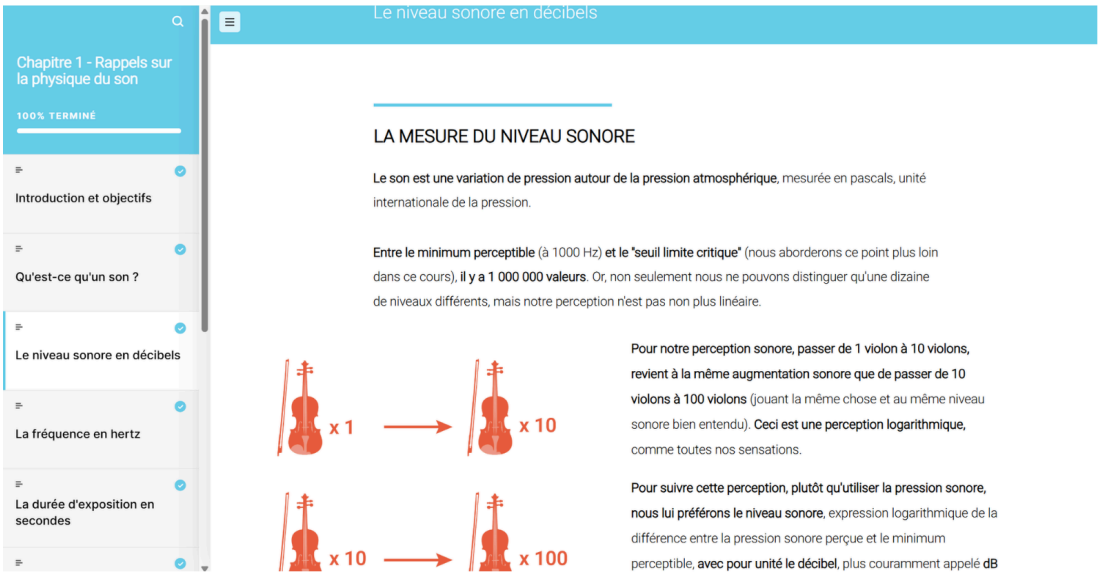


***Figure 3** : screenshot du contenu xAPI ouvert dans le nouvel onglet avec menu de navigation inclus dans le xAPI (Rise)*



L’intégration du chargement du chapitre dans un iframe sur la page de chapitrage était souhaitée afin d’éviter à l’apprenant de changer d’onglet de navigation. Pour cela, il faut donc exporter les données xAPI leçon par leçon plutôt que par chapitre afin d’avoir un niveau de hiérarchie supplémentaire. Cela a provoqué l’apparition d’un double scroll (celui de l’iframe plus celui du LMS) n’étant pas idéal pour la navigation. Ce problème a pu être résolu à l’aide des développeurs grâce au code permettant de masquer un des deux scrolls : “overflow:hidden;” après avoir effectué les tests dans l’inspection du navigateur. La suppression du scroll a engendré un problème de navigation puisque, sans le double scroll, il est impossible d’utiliser la navigation native de Learndash qui se retrouvait masquée.
Learndash propose différentes solutions de comportement à la fin d’une iframe : afficher un menu de navigation, attendre la complétion de l’apprenant via un bouton de validation, ou passer automatiquement à la leçon suivante dès que la complétion de l’iframe, donc de la leçon, est terminée. Après avoir testé plusieurs solutions, le choix s’est porté sur l'intégration d'un bouton à fin d’une leçon, qui envoie un signal de complétion lorsque l’apprenant valide l’achèvement de cette leçon et le fait avancer vers la leçon suivante. Ce bouton disparaît alors, car il devient inactif avec le premier passage : il ne serait pas ergonomique d’avoir un bouton qui n’ait aucune action.

Lorsqu’un apprenant termine une formation, en cas de réussite à l’évaluation finale, un certificat lui est délivré. Un modèle de certificat contenant des shortcodes, le système de codes court de WordPress qui permet d’afficher des données externes, a été mis en place afin de récupérer les informations de l’apprenant : le nom de la formation suivie, la date de complétion… Le modèle de certificat peut ainsi être généré précisément pour chaque formation sans devoir créer un certificat spécifique par formation. Le certificat est ensuite associé à une formation et est délivré automatiquement si l’apprenant obtient un taux de réussite d’au moins 80%.

2.2.2. La charte pédagogique et graphique des formations

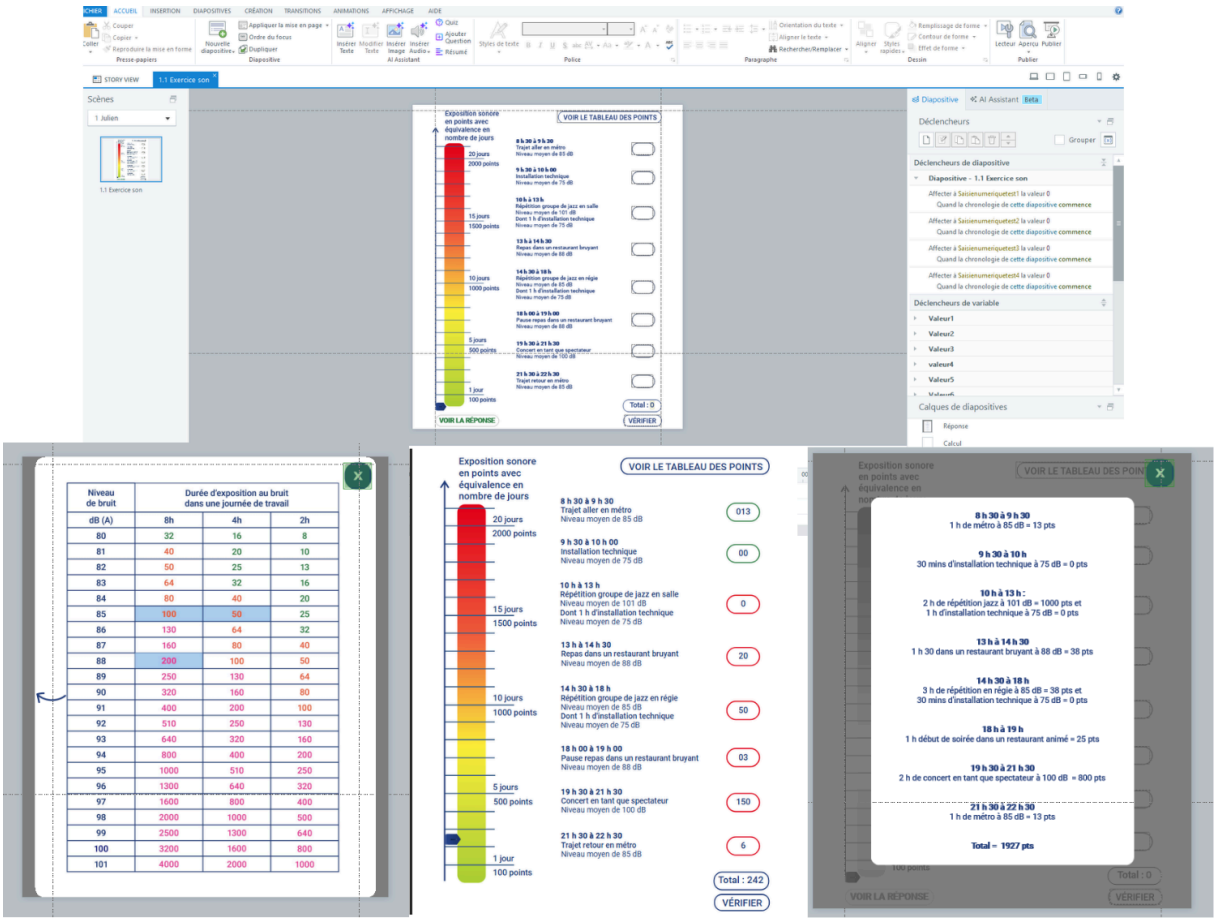
Le conservatoire augmenté, en pleine phase de production, fait appel à des prestataires dont une ingénieure pédagogique chargée de l’intégration des formations dans l’outil auteur Rise. Afin que le travail collaboratif soit homogène, une charte pédagogique et graphique destinée à l’intégration des formations a été mise en place. Cette charte comprend les codes hexadécimaux des couleurs de formation par thème, l’arborescence mise en place pour le découpage des contenus, un accès aux différents documents nécessaire pour l’intégration,

une charte graphique appliquée aux formations et le ton pédagogique et rédactionnel à adopter.

2.2.3. Une activité sur Storyline

Storyline est un logiciel permettant de créer des activités interactives sur mesure. L'activité est réalisée sur des diapositives, composées de calques, contenant des formes, des textes, des images, des vidéos… qui peuvent interagir entre eux grâce à des déclencheurs d'action. Dans la formation santé auditive, observée au début de la mission, une activité consiste à calculer la dose d'exposition journalière. Cette activité nécessite d'aller chercher plusieurs informations : les différentes activités exercées au cours de la journée, le volume sonore en décibels par activité et le nombre de points correspondant à ce volume sonore. Afin de créer une activité engageante, une diapositive sur laquelle se trouvent tous les éléments nécessaires a été créée. Comme le montre la figure 4, l'activité inclut les documents nécessaires à sa réalisation : il est possible d'ouvrir directement dans la fenêtre le tableau des mesures et d'y inscrire les valeurs dans les champs prévus à cet effet. Le calcul est automatisé, la somme s'affiche dans le total. Cette activité fonctionne grâce aux déclencheurs et aux variables : la jauge est associée à la variable du total ce qui implique qu'elle augmente au fur et à mesure de l'exercice. Lors de la validation, les champs contenant les valeurs se colorent en rouge ou en vert, donnant un premier retour visuel à l'apprenant, afin de pouvoir réajuster sa réponse sans tout recommencer si nécessaire. Au bout de deux essais il est possible d'accéder aux résultats et au détail du calcul. La figure 4 indique qu'un bouton, situé en haut à droite de l'activité, permet d'afficher le tableau de correspondance entre le volume sonore et les points. Le volume sonore correspondant est indiqué en lien avec l'activité en question. Des champs permettent de remplir au fur et à mesure le nombre de points. Un calque de calcul, invisible, reporte le résultat dans le champ du total. Une jauge s'actualise et augmente proportionnellement au total afin d'augmenter l'impact visuel concernant l'importance de la dose sonore journalière du cas étudié.

Figure 4 : *Screenshot de l'interface Storyline et du fonctionnement de l'activité avec un zoom sur les différents calques disponibles (tableau des points et réponse détaillée) ainsi que le retour visuel de l'activité selon les réponses.*



2.2.4. Création des templates

Les formations ont initialement été intégrées dans l'outil Rise. Cet outil permet d'empiler des blocs de texte, d'activités, dont celles créées avec Storyline, ou d'images les uns en dessous des autres, en personnalisant leurs couleurs, police, et espacement (padding). Le nouvel outil Scormstack a été intégré au cours de la mission. Les premiers tests ont été rapidement concluants. L'outil évolue vite et permet de créer de nouveaux types d'activités grâce à celui-ci. Il est plus ergonomique : la navigation et la construction des empilements de blocs est beaucoup plus rapide et intuitive. Il est maintenant possible de modifier le CSS des formations ce qui permet de personnaliser la mise en page plus précisément comparé à Rise qui ne proposait qu'un choix restreint de police, padding et une utilisation plus fastidieuse des couleurs sans pouvoir accéder à un nuancier personnalisé. Un dossier nommé "template" a été créé pour servir de base de travail (Annexe 2). Celui-ci permet de reproduire

fidèlement et rapidement la mise en page définie pour les formations en copiant et collant les blocs ou les leçons entières des templates vers une formation en cours d'intégration.

Il a fallu prendre le temps de tester le bon fonctionnement des exports de l'outil sur le LMS. Plusieurs leçons ont été intégrées sur la plateforme staging destinée aux essais d'intégration LMS. Les tests ont été concluants et ont permis de valider la bascule sur la plateforme.

2.2.5. Intégration de code

Pour un module de formation, le choix s'est porté sur le développement d'un outil permettant de calculer le montant de sa retraite de base (Annexe 3) Cette calculatrice a été réalisée avec VS Code, assisté de l'IA. L'intégration dans le code peut se réaliser de deux façons dans un bloc code personnalisé : via une page html complète ou directement dans une balise . Le code intégré dans ce champ destiné au code personnalisé dépend du CSS de Scormstack. Des problèmes d'affichage ont été rencontrés aux tailles d'écrans inférieures : en effet, la présentation de la calculatrice à l'horizontale ne répondait pas correctement aux demandes @media et le drapeau !important n'a pas suffit à résoudre le problème rencontré. Il a donc été décidé de présenter le calcul sous forme de carte à lecture verticale, de cette façon le calcul est intégré dans une "card" délimitée par une taille maximum. Après plusieurs essais et tests, le résultat s'est avéré concluant. La calculatrice s'adapte bien à tous les formats du téléphone à l'ordinateur. Concernant la mise en forme, le CSS a été ajusté aux couleurs et aux choix graphiques des formations.

2.2.6. Tournages et vidéos

L'arborescence des formations contient pour chaque début de partie ou de chapitre une vidéo face caméra (facecam) de l'expert. Ces facecams sont tournées au CNSMDP tout d'abord dans des salles du conservatoire, puis dans un studio prévu à cet effet. Ces tournages associent un aspect technique : réglage du cadre et des lumières et réglage du niveau sonore, et un aspect pédagogique : il est nécessaire d'accueillir et d'accompagner l'expert dans cet exercice. (Annexe 4)

2.3. Problématique

La conception pédagogique repose sur des choix clairs visant à optimiser l'apprentissage à distance. La structure du cours privilégie un rythme précis et fluide, organisé en blocs successifs, pour une progression simple et efficace. Le ton adopté est académique. L'interactivité est présente mais mesurée et l'enseignement est dispensé exclusivement en

distanciel asynchrone. Nous nous sommes interrogés sur la meilleure manière d'engager tous les apprenants, venant de milieux différents, de parcours différents et de métiers différents, dans un modèle unique de formation. L'inter-individualité des apprenants est importante. Quels sont les leviers qui permettront de s'engager pleinement dans la formation ? Les études menées sur les neurosciences peuvent-elles avoir une incidence sur la conception de formation afin de prendre en compte les mécanismes physiologiques d'apprentissage ?

"Dans quelle mesure les apports des neurosciences permettent-ils de concevoir et d'analyser l'efficacité d'une structure de formation unique sur un outil auteur face à la variabilité interindividuelle des acteurs du spectacle vivant en apprentissage asynchrone ?"

3. Cadre théorique

3.1. Les neurosciences

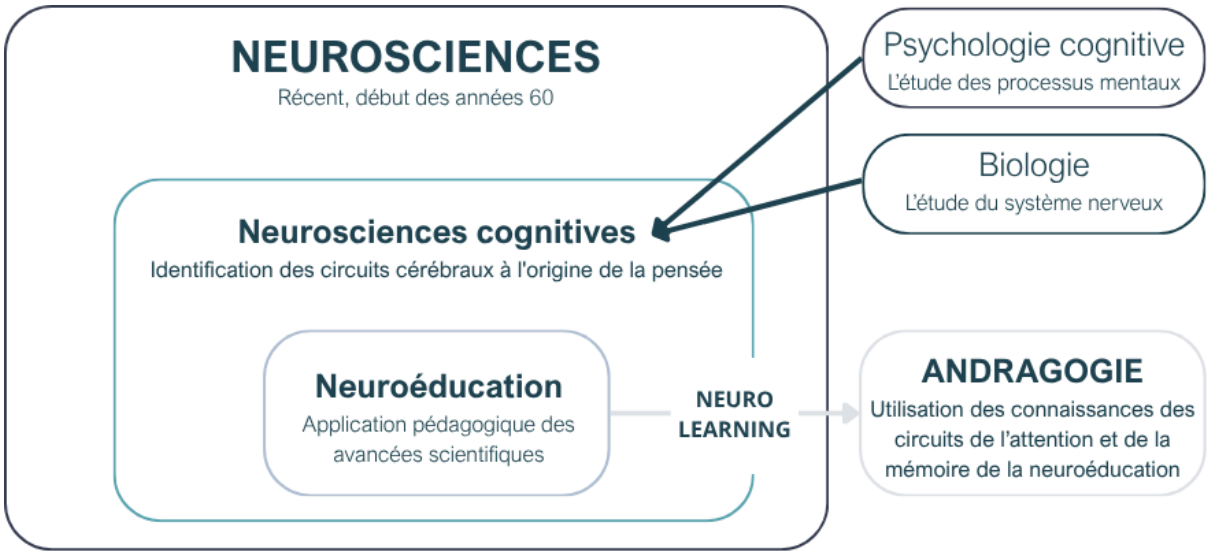
3.1.1. Historique

Le fonctionnement du cerveau fascine les chercheurs et philosophes depuis des millénaires remontant jusqu'au néolithique où déjà des traces de trépanations témoignent de cet intérêt. (*Anatomie du Cerveau*, s. d.). Pourtant, selon Abi-Rachel et Rose (2014), le terme neuroscience n'est apparu qu'en 1960 aux Etats-Unis, lors de la fondation du MIT Neurosciences Research Program, une organisation qui a réuni de nombreux scientifiques pour étudier le fonctionnement du cerveau, fondée par Francis O. Schmitt (Adelman, 2010). Son évolution est rapide, notamment au cours du XXe siècle, avec l'arrivée des imageries (IRMf) qui a permis la découverte de notions fondamentales comme la transmission synaptique Jeannerod (2002). Le domaine des neurosciences est vaste et étudie le fonctionnement du cerveau à tous les niveaux : des niveaux élémentaires, avec les neurosciences cellulaires et moléculaires (canaux ioniques, protéines, membrane du neurone, synapses et cellules), au niveau des ensembles de neurones jusqu'au niveau de l'assemblage des colonnes qui regroupent plusieurs aires anatomiques (Jeannerod, 2002). Dans cette étude, à quel niveau peut-on situer les recherches ?

Les neurosciences cognitives ont pour objectif d'identifier et de comprendre les processus cérébraux à l'origine de nos capacités mentales ou cognitives (comme l'attention, la mémorisation, l'apprentissage, etc.) (Van Dijk, 2024). Ce courant naît de la convergence entre la biologie et la psychologie cognitive à la fin des années 1970. Les neurosciences

cognitives visent à établir un lien direct entre le fonctionnement des réseaux neuronaux et la cognition. Elles reposent sur diverses techniques d'observation de l'activité cérébrale (Jeannerod, 2002). Le rapport de l'OCDE en 2007 conclut que « La neuroscience de l'éducation débouche sur des connaissances précieuses et neuves, qui permettent d'informer politiques et pratiques éducatives ». Le lien entre science du cerveau et méthodes éducatives est donc très récent et a pris de l'importance surtout ces dernières années. Le terme de neuroéducation concerne plutôt l'apprentissage chez les enfants. Mais le terme spécifique de neuro learning a été défini par Medjad (2017) spécifiquement pour le management et la formation pour adulte et que l'on peut donc relier à l'andragogie, la science et pratique de l'éducation des adultes (Larousse) (fig 5)

Figure 5 : **La neuroéducation, levier dans la conception de dispositifs d'apprentissage**



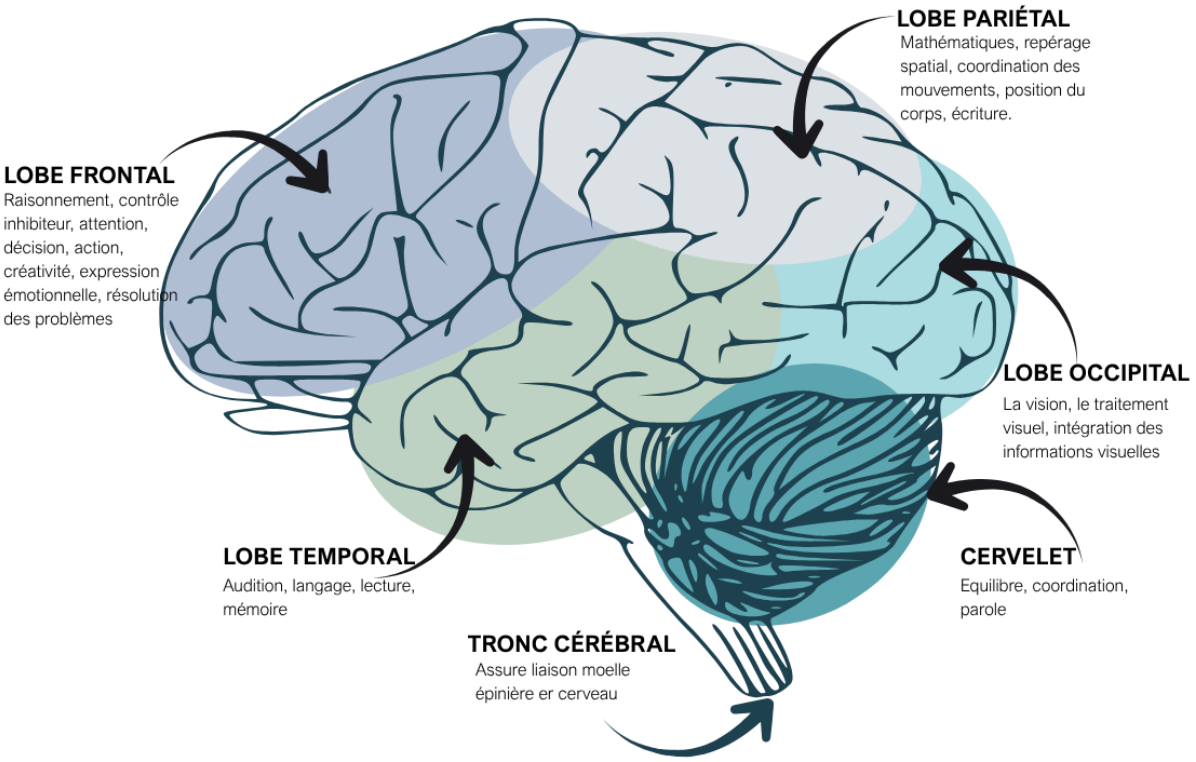
Quelques notions de base des neurosciences permettront de comprendre le fonctionnement de notre cerveau et sa composition afin de pouvoir entrer dans les mécanismes physiques de l'apprentissage.

3.1.2. Le fonctionnement de notre cerveau

Van Dijk (2024) rappelle dans son ouvrage que le cerveau est composé de deux hémisphères : le droit et le gauche. Ils sont connectés l'un à l'autre via le corps calleux, une structure composée d'un faisceau de connexions neuronales. De manière simplifiée, le cerveau est composé du cervelet, du tronc cérébral, du système limbique contenant l'amygdale et l'hippocampe. Il est composé de quatre lobes (fig 6):

- Le lobe occipital consacré à la vision,
- Le lobe pariétal pour les mathématiques, repérage spatial, coordination des mouvement,
- Le lobe temporal pour l'audition, le langage, la lecture, la mémoire,
- Le lobe frontal pour les capacités de raisonnement, le contrôle inhibiteur, l'attention, la décision et l'action…

Figure 6 : *Représentation simplifiée du cerveau et de ses fonctions.*
Synthèse de l'auteure, d'après l'institut du cerveau (s,d) et Van Dijk (2024).



Dans son ouvrage, Van Dijk reprend la structuration du cerveau : il se compose de neurones (entre 86 et 100 milliards) transmettant l'information, de cellules gliales, en nombre équivalent, permettant le bon fonctionnement des neurones. Les neurotransmetteurs comme l'adrénaline, la dopamine, la sérotonine, par exemple, assurent les échanges chimiques dans le cerveau lors de la transmission du message électrique. Il est transmis le long du neurone émetteur au neurone post-synaptique, sous cette forme chimique. Nous perdons chaque jour environ 100 000 neurones, mais nous pouvons continuer d'apprendre tout au long de la vie grâce à la plasticité cérébrale. La plasticité cérébrale "*décrit la capacité du cerveau à remodeler sa structure en créant ou en éliminant des synapses ou encore en développant*

(ce qu'on appelle neurogénèse), modifiant ou supprimant les neurones qui le composent". Van Dijk (2024, p.19). Elle est, toujours selon Van Dijk (2024) essentielle au processus d'apprentissage et se maintient tout au long de la vie de l'individu. Ces données indiquent que, quel que soit l'âge, tout apprenant est capable de progresser et d'acquérir de nouveaux savoirs. Cependant, il existe aussi des croyances sur l'apprentissage qui peuvent se révéler entravantes pour l'efficacité d'une formation.

Le neuromythe est une croyance erronée sur le fonctionnement du cerveau : n'utiliser que 10% de son cerveau, "être cerveau droit" ou "cerveau gauche", l'apprentissage genré qui consiste à dire que filles et garçons n'apprennent pas de la même manière ou encore le style d'apprentissage de prédilection (visuel, auditif ou kinesthésique). (Van Dijk, 2024). Ces neuromythes peuvent entraîner des répercussions sur les apprenants en les classant dans des catégories réductrices (Masson et Blanchette Sarrasin, 2015).

Cela résume le fonctionnement du cerveau dans une globalité très simplifiée. De cette structure moléculaire ressort le terme de plasticité cérébrale, notion essentielle à prendre en compte pour l'apprentissage. Mais comment favoriser le remodelage de nos connexions synaptiques de manière efficace ? Comment apprend-t-on ?

3.2. Les 4 piliers de l'apprentissage de Dehaene

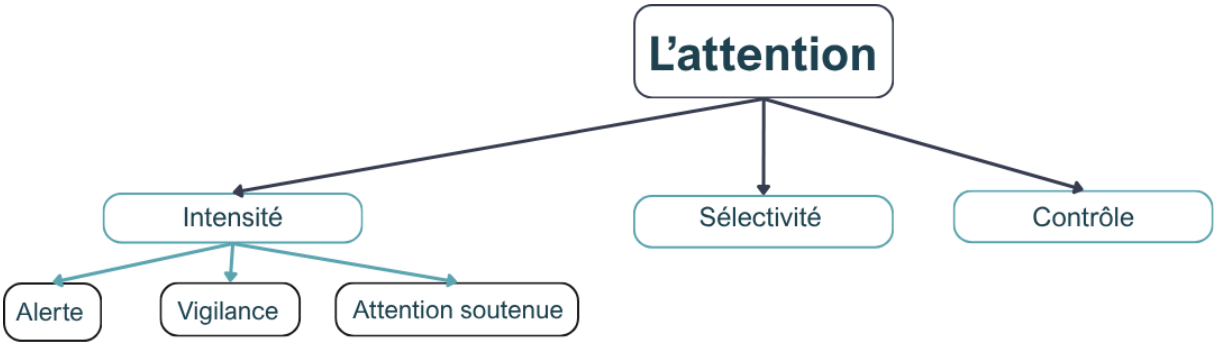
3.2.1. L'attention

"En sciences cognitives, on appelle « attention » l'ensemble des mécanismes par lesquels notre cerveau sélectionne une information, l'amplifie, la canalise et l'approfondit." (Dehaene, 2018, p.183). Selon Medjad et al. (2017), l'attention se divise en trois caractéristiques : l'intensité, la sélectivité et le contrôle. Posner et Petersen (1990) ont aussi relevé ces trois mêmes caractéristiques (alerting, orienting, executive functioning or control) : le système de l'attention est séparé des systèmes de traitement des données qui continue d'effectuer des opérations sur les entrées même quand l'attention est orientée à un autre endroit, il interagit avec d'autres zones du cerveau. Les résultats de leur étude indiquent l'indépendance de ces trois systèmes attentionnels.

Selon Medjad et al. (2017) l'intensité réunit trois critères : la capacité de réagir (l'alerte), la capacité de rester efficace (la vigilance) et la concentration sur la durée (l'attention soutenue) (fig 7). Réussir à alerter l'apprenant, ce serait réussir à capter son attention et lui donner envie de s'intéresser à la formation de lui-même. Quelles alertes seraient efficaces pour

notre cerveau ? Quels sont les mécanismes physiologiques qui nous poussent à nous engager et à apprendre ?

Figure 7 : *Les critères de l'attention schématisé par l'auteure selon Medjad et al et Posner et Petersen*



Le circuit de récompense du cerveau a un impact important sur le comportement. En effet, l'étude de Naudé et al. (2024) montre que la dopamine motive les comportements construits lors de l'apprentissage de l'emplacement d'une récompense. Une autre étude de Greenstreet et al. (2024) démontre que la dopamine n'est pas un simple signal de récompense mais agit comme un signe d'erreur de prédiction (qui sera développée plus amplement dans le pilier du retour sur erreur) : ces deux signaux collaborent pour équilibrer l'apprentissage guidé par la récompense et la formation de comportements stables et automatiques. Ce qui amène à penser que la dopamine produite par le cerveau est essentielle à l'apprentissage et la motivation intrinsèque de l'apprenant. Selon Koepp et al. (1998) le circuit de la dopamine s'active fortement lorsque l'on joue à un jeu d'action. Le jeu vidéo est un puissant stimulant mais pas le seul : cela peut être une personne passionnante, un livre absorbant ou encore un film transportant son spectateur (Dehaene, 2018). Ces éléments peuvent être des signaux d'alerte puissants. Medjad et al (2017) soulignent l'importance du choix de support ou de transmission en indiquant que l'écrit stimule peu l'attention contrairement à un dessin, un graphique, une image qui sont des représentations plus concrètes pour le cerveau. Afin de stimuler le circuit de récompense, l'utilisation du multimédia est un allié précieux pour stimuler les sens des apprenants, de par l'utilisation d'images, de vidéos, de sons qui stimulent l'ouïe et la vue. Tous les multimédias ne génèrent pas la dopamine de la même façon mais l'effet de récompense et de progression visible est essentiel à l'apprentissage. Cependant, la sursollicitation multimédia peut avoir l'effet inverse, il convient donc de trouver l'équilibre pour ne pas tomber dans la contre-productivité (Medjad et al, 2017).

Selon Lieury (2020), le cerveau est éveillé et la vigilance est un état de veille passif en attente d'un signal. C'est ce système qui va détecter un élément surprenant : il est défini par un seuil de réactivité qui peut varier en fonction des individus, et permet de détecter un élément rare ou inattendu. Selon Petersen et Posner (2018), la vigilance fait référence aux changements d'excitation et se régule de manière descendante, c'est-à-dire notre propre esprit qui décide de lui-même de rester en alerte, sans avoir besoin d'aide extérieure. Il serait judicieux d'utiliser cette caractéristique de la vigilance afin de remobiliser l'attention de l'apprenant. Mais comment mettre en place ce système dans un module e-learning asynchrone ? Une fois l'attention captée, il est important de pouvoir la garder. Selon Lieury (2020), l'attention soutenue permet de traiter une activité pendant une durée importante. Dans la vie courante, nous avons des relâchements de l'attention. D'ailleurs, l'expérience des "horloges" de Mackworth (cité par Lieury, 2020, p. 219) nécessite une attention soutenue sur une aiguille avançant de 100 crans par tour mais sautant deux crans 6 fois pour 1000 crans. Les résultats montrent que l'attention diminue fortement entre 30 minutes et 1 heure de concentration sur cette tâche. Quel processus utilise notre cerveau pour s'éveiller à un signal et y rester concentré ?

Selon Dehaene (2018), le cerveau a la capacité de trier les informations prioritaires dans le flux d'informations (visuelles, auditives, sensorielles…) transmises par millions de bits par seconde. Il se focalise sur celle qui est la plus importante pour lui, la plus essentielle. Medjad et al. (2017) citent aussi cette action de tri de certains signaux en priorité au détriment d'autres, comme l'action d'un filtre. Il ajoute une information intéressante stipulant que plus l'attention sera grande et plus la performance sera élevée. Dans la création des modules e-learning, d'après les informations ci-dessus, il sera pertinent de ne pas multiplier les informations afin de ne pas les noyer dans le flux. Mais est-il possible de diriger l'attention des apprenants leur permettant de relever les informations nécessaires à leur apprentissage ? Selon Lafontaine et Lippé (2011), le cerveau crée une image mentale de la situation afin de savoir ce qui mérite ou non l'attention. Le module e-learning doit donc être limpide et fonctionnel afin que le cerveau se construise une image mentale claire. Cette approche rappelle l'apprentissage multimédia de Mayer qui sera détaillé ultérieurement. Dehaene (2018) souligne l'écart notable dans la façon dont une information est traitée lorsqu'elle bénéficie de notre attention, par opposition à une information ignorée. Dans le cas contraire, si nous ne prêtons pas attention, l'information reste confinée aux aires sensorielles précoces. Pourtant l'attention permet aux neurones sensoriels de propager l'information jusqu'au cortex préfrontal qui permet de lier les informations entre elles et donc d'acquérir une compétence. L'attention peut aussi avoir un effet inverse si elle est mal orientée. Medjad et al (2017, p 80) expliquent que l'attention sera détournée vers une autre source d'intérêt si elle présente, par

exemple, un stimuli émotionnel. Il cite en exemple un objet qui casse lors d'une discussion qui va détourner notre attention. Il nomme cet effet "cocktail-party". "En matière d'émotions, tout se joue au départ de l'interaction. Dès les premières secondes, notre cerveau produit un jugement favorable ou non vis-à-vis de la personne qu'il rencontre pour la première fois. Il sera ensuite très difficile de modifier cette première impression" (Medjad et al, 2017, p. 82). Cette citation porte les émotions comme acteur de l'attention : la première impression étant importante, en digital learning cela revient à avoir un accueil soigné, de la clarté, un usage des médias pour capter l'attention qui permettra d'aller plus loin (Medjad et al, 2017). Ces caractéristiques soulevées par Medjad et al, amènent à s'interroger sur la place du graphisme dans une formation en s'appuyant sur les études sur le design émotionnel qui seront détaillées dans une prochaine partie.

Cherry (1953) a soulevé l'existence du filtre sélectif qui peut être dirigé, selon sa technique de l'écoute dichotique qui consiste à envoyer un message différent dans chaque oreille. En effet, en se concentrant sur l'une des deux oreilles, le message est compréhensible alors qu'il ne n'est pas lors d'une écoute des deux côtés en même temps. Le cerveau ne perçoit pas la totalité de l'environnement, au travers de trop de stimulations, il fait un tri. C'est ce qu'on appelle la cécité d'inattention. La célèbre étude sur le gorille invisible (Simons et Chabris, 2010) révèle ce phénomène par l'expérience d'observation d'une scène où des joueurs se passent un ballon. L'observateur doit compter le nombre de passes faites et ne remarque pas le passage d'une personne déguisée en gorille. Ceci témoigne que nous ne percevons pas la totalité de notre environnement visuel. L'attention sélective, selon Dehaene (2018), c'est choisir, filtrer, sélectionner. Pour capter une entrée sensorielle, le cerveau en éteint d'autres. Dehaene (2018) constate que "nous avons tendance à oublier ce que c'est d'être ignorant". Nous pensons que tout ce que nous voyons, tout le monde peut le voir. Pourtant l'expérience citée précédemment prouve le contraire. Cependant stimuler plusieurs sens profite également à la mémorisation selon Medjad et al. (2017). Ce point sera détaillé dans la partie sur les mémoires.

On voit apparaître ici le besoin d'un équilibre permettant à l'apprenant d'être stimulé pour favoriser l'apprentissage mais ne pas tomber dans la surstimulation qui aurait l'effet inverse. Comment définir cet équilibre ? Focaliser l'attention sur un endroit en particulier a-t-il une incidence sur l'apprentissage ?

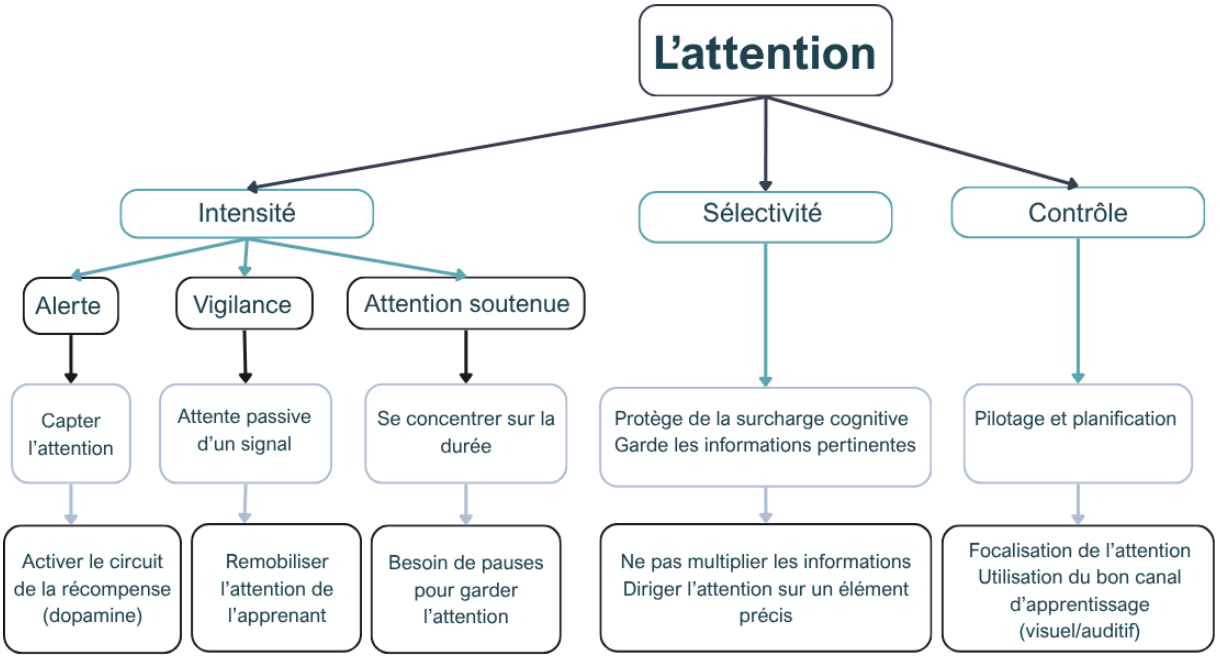
Dehaene (2018) utilise une expérience avec des adultes avec pour objectif l'apprentissage d'une écriture inhabituelle. Un groupe focalise son attention sur la forme des courbes (niveau global) alors que l'autre groupe focalise son attention sur le fait que les courbes sont formées de lettres superposées (niveau local). Le second groupe parvient à lire plus aisément les

nouveaux mots, en activant l'hémisphère gauche dans le circuit normal de lecture. L'autre groupe ne parvient pas à lire les nouveaux mots puisqu'ils activent les aires visuelles de l'hémisphère droit. Le message ici est limpide : focaliser son attention au bon endroit permet un meilleur apprentissage. Si l'apprentissage est facilité par une bonne focalisation, il conviendrait donc de se poser la question : par quel circuit du cerveau est-il préférable de passer pour favoriser la rétention de l'information en fonction de la compétence que l'on souhaite apporter à l'apprenant ?

Selon Dehaene (2018), le contrôle exécutif agit comme un aiguilleur du cerveau. C'est un ensemble de processus mentaux qui permettent de choisir un plan et de s'y tenir. Son développement peut être accéléré par l'entraînement et l'éducation. Ce point sera abordé plus précisément dans la partie consacrée à la charge cognitive.

Dans cette analyse, la notion d'attention et ces expériences sont intéressantes à prendre en compte pour tenter de mettre l'apprenant en alerte afin de capter son attention mais aussi de la diriger au bon endroit. L'attention est donc un facteur indispensable à l'acquisition des connaissances et il paraît essentiel de pouvoir guider l'apprenant, le captiver sur les informations prioritaires et gérer le flux d'informations données dans le but de faciliter sa mémorisation sur les formations proposées dans ce projet. (fig 8)

Figure n°8: *Synthétisation des points essentiels favorisant l'attention*



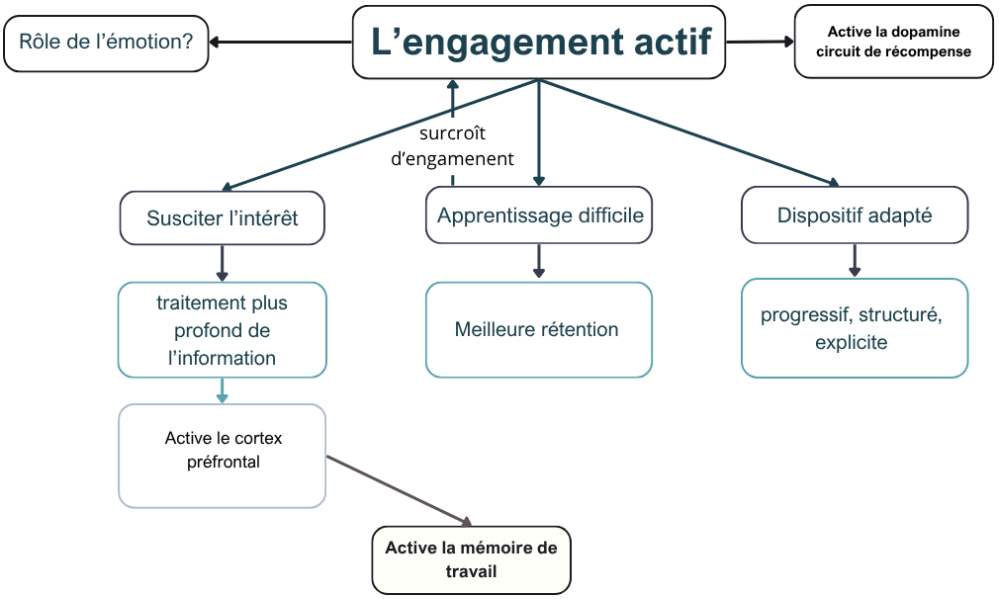
3.2.2. L’engagement actif

Une expérience intéressante de Dehaene (2018) sur des étudiants, permet de mettre en lumière l’importance du traitement d’informations : un groupe étudie une liste de mots en prenant en compte le sens du mot, impliquant un traitement profond de l’information, alors qu’un autre groupe les étudie de manière plus superficielle, c’est-à-dire le mot écrit ou le mot parlé. Il s’avère que le groupe ayant traité l’information de manière profonde se souvenait de plus de mots que l’autre groupe : un traitement actif permet d’activer les aires du cortex préfrontal associé au traitement conscient des mots. Selon Brown et al. (2014) l’apprentissage sera durable et profond s’il a nécessité un effort. Une progression plus difficile et plus lente est propice à l’apprentissage contrairement à une stratégie qui semblerait plus fructueuse mais qui serait de nature plus temporaire. Le traitement profond est plus efficace que le traitement superficiel étant donné qu’il demande une réflexion plus intense donc un engagement fort. Le cerveau, comme indiqué précédemment, est composé de quatre lobes, dont le lobe frontal. Ce lobe a une place importante dans l’apprentissage, grâce au cortex préfrontal (actif lors de l’expérience de Dehaene explicité ci-dessus) situé à l’extrémité rostrale (vers le nez) du crâne. Selon Bear and al. (2016) il est bien développé et serait impliqué dans la mémoire de travail pour résoudre des problèmes et organiser des comportements. Selon Lafontaine et Lippé (2011) le cortex préfrontal influence de façon descendante (par l’utilisation des connaissances antérieures) le traitement visuel de base par sa régulation de l’attention mais aussi de la mémoire de travail, point qui sera approfondi dans une partie ultérieure.

L’engagement actif, c'est-à -dire un apprenant motivé, actif et engagé, est indispensable. L’environnement d’apprentissage se doit d’être progressif, structuré et explicite afin de guider au plus vite vers l’objectif sans pourtant être trop facile et ne nécessiter aucun effort. Dehaene (2018) s'appuie sur plusieurs travaux pour remettre en question certaines applications du constructivisme démontrant que l’apprentissage par soi-même est un apprentissage de surface et que l’accompagnement d’une formation permet d’aller beaucoup plus profondément dans les connaissances et compétences. L’apprenant a besoin d’un guidage mais sans motivation intrinsèque, l’apprentissage ne sera pas efficace. En effet, l’envie de savoir passe par le circuit de dopamine, plus on souhaite savoir, plus les deux régions essentielles du circuit cérébral de la dopamine s'activent. La récompense arrive même avant d’acquérir les connaissances dans ce cas : l’avidité de savoir détermine la profondeur de la mémoire. Les émotions jouent un rôle dans l’apprentissage, dans la construction des concepts qui nous entourent : l’émotion positive, comme par exemple le rire, favorise la curiosité et maximise l’apprentissage (Dehaene, 2018).

Proposer un dispositif engageant c'est réussir à avoir un apprenant actif dans son apprentissage. Regarder une vidéo ne suffira pas : il faut pouvoir s'approprier le contenu et créer du sens afin que l'apprenant cherche à construire une représentation mentale cohérente (Mayer, 2020). Il faudra, dans la construction du dispositif, pallier l'absence d'accompagnement, en construisant des retours, tout en piquant la curiosité des apprenants en amenant des situations stimulantes, afin de leur donner envie de s'engager dans la formation. (fig 9)

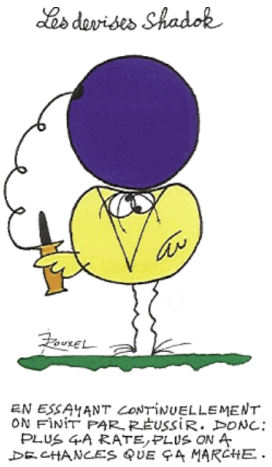
Figure 9 : *Synthétisation de l'importance de l'engagement actif*



3.2.3. Le retour sur erreur : importance de la rétroaction (feedback)

"Se tromper c'est déjà apprendre" (Dehaene, 2018). Les Shadoks, ci-contre, illustrent avec humour ce principe (fig 10).

Figure 10 : *Illustrations des Shadoks par Rouxel*



Winne et Butler (1994, cités dans Hattie & Timperley, 2007) affirment que “Le feedback est une information avec laquelle un apprenant peut confirmer, ajouter, écraser, ajuster ou restructurer des informations en mémoire, que ces informations soient des connaissances du domaine, des connaissances métacognitives, des croyances sur soi et sur les tâches, ou des tactiques et stratégies cognitives.” (traduction reverso, revue par l'auteur). Comment notre cerveau traite-t-il un feedback ? Quels sont les facteurs pour un apprentissage efficace ?

Comme vu précédemment, le cerveau a besoin de l’apprentissage actif et dépend du degré de surprise. Une information nouvelle constitue un signal d’erreur, l’important est la surprise, le décalage entre la prédiction faite par le cerveau et la réalité. Le cerveau n’apprend que s’il perçoit un décalage entre ce qu’il attendait, sa prédiction, et ce qu’il reçoit (OI-Yue Yau et McNally, 2023). Selon Friston et Friston (2013) le cerveau est comme un organe constructif qui cherche à donner du sens. Le cerveau fonctionne de manière statistique et réalise des prédictions qui génèrent des hypothèses. Prenons en exemple une mélodie : notre cerveau prédit l’enchaînement de notes par apprentissage à mesure de leur répétition. Cependant si une note change, une sensation de surprise se crée, l’adaptation s'évanouit et les neurones se mettent à décharger. (Dehaene, 2018). Toujours selon Dehaene (2018), chaque aire cérébrale transmet aux niveaux supérieurs du cortex uniquement les informations surprenantes, imprévisibles en fonction de la nature de la prédiction (langage, son, image…) Le signal prédictif provoque un shoot de dopamine (la dopamine, récompense pour notre cerveau). Ce signal est extrêmement utile à l’apprentissage puisqu’il permet au système de s’auto-critiquer dans une situation face à la réussite ou l’erreur sur une action. C'est le décalage (l'erreur de prédiction) qui réactive le système, car si tout est prévisible, le signal de dopamine finit par s'estomper. “Prédire, détecter son erreur, se corriger sont les fondements mêmes d’un apprentissage efficace” (Dehaene, 2018)

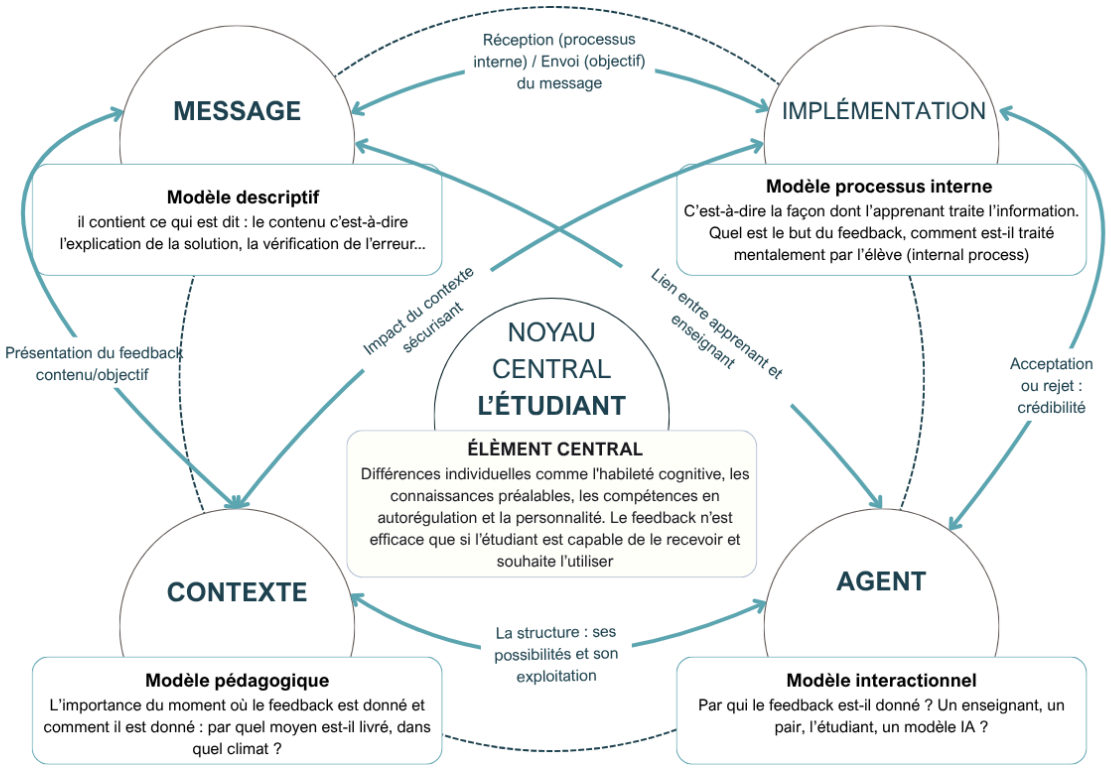
L'erreur est donc importante pour l'apprentissage, mais quelle est la pertinence du feedback apporté à l'apprenant qui se retrouve face à l'erreur ?

Sans entrer dans le détail de ces paradigmes, Lipnevich et Panadero (2021) ont rédigé une revue littéraire dans laquelle ils présentent un historique du feedback. Il débute chez Skinner par le behaviorisme avec des renforcements positifs et négatifs. Puis il est introduit par Bloom comme un feedback formatif. C’est l’émergence des théories cognitives et constructivistes qui changent alors l’approche du feedback : le but étant de permettre à l’apprenant de construire sa connaissance. Les années 70/80 ont été les plus fructueuses dans les recherches concernant la pertinence du feedback : il devient une opportunité d’apprendre. Selon Shute (2008) le feedback formatif est défini comme une information communiquée à l'apprenant, dont l'objectif est de modifier sa pensée ou son comportement

afin d'améliorer l'apprentissage. Le feedback est efficace s'il guide l'apprenant dans son apprentissage sans saturer les ressources cognitives (détaillé dans une partie ultérieure) grâce à sa découpe en unités d'information. Il nécessite de se concentrer sur la tâche et non l'égo de l'apprenant : cela permet de focaliser l'attention sur l'objectif d'apprentissage. Il permet de clarifier le chemin qu'il reste entre l'objectif à atteindre et le niveau actuel de l'apprenant. Enfin, il doit être spécifique afin de comprendre son erreur et sa correction. (Shute, 2008)

Panadero et Lipnevich (2022) ont créé un modèle intégratif nommé : MISCA (Message, Implementation, Student, Context, Agent) (fig 11). Il a été créé à partir de 14 modèles existants sélectionnés par un panel d'enseignants parmi 65 autres. Le modèle met l'apprenant au centre d'un système interconnecté : l'étudiant est l'élément central, il est celui qui va recevoir le feedback. Ce feedback dépend de la description du message, du contexte, de l'enseignant qui le transmet et du processus interne à l'apprenant qui le reçoit. Tous ces éléments sont connectés entre eux.

Figure 11 : *schématisation selon l'auteure, d'après Lipnevich et Panadero (2021): MISCA*



➔ **Message et implémentation**

Le contenu du message, selon sa fonction, déclenche un processus spécifique chez l'étudiant et, à l'inverse, l'objectif visé détermine la nature du message.

➔ **Message et contexte**

Le cadre pédagogique permet d'interpréter le message (ex: droit à l'erreur), tandis qu'un feedback constructif améliore le climat de classe en favorisant les objectifs d'apprentissage.

➔ **Message et agent**

La nature du message s'adapte à celui qui le donne ; le langage d'un pair est souvent plus accessible et mieux perçu par l'élève qu'un feedback d'enseignant.

➔ **Implémentation et contexte**

Le climat de classe influence le traitement du feedback ; un environnement sécurisant favorise la progression, alors qu'un contexte menaçant pour l'ego pousse l'élève à se protéger.

➔ **Implémentation et agent**

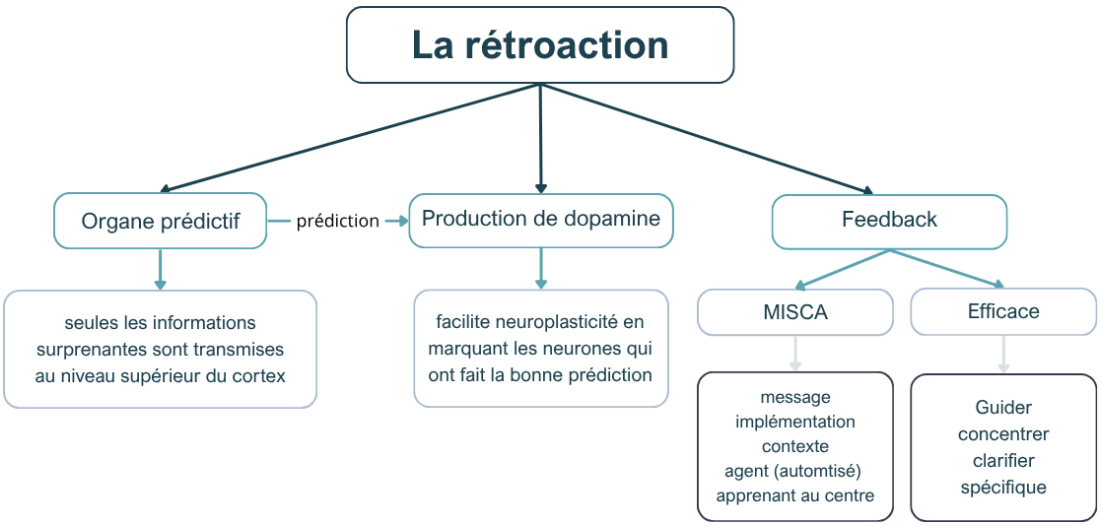
La confiance envers l'agent (professeur ou pair) détermine l'effort fourni, tandis qu'une auto-évaluation erronée peut mener l'élève à abandonner ses efforts.

➔ **Contexte et agent**

L'organisation de la classe définit qui peut donner du feedback ; l'enseignant choisit soit d'être la seule source, soit d'ouvrir le cadre aux pairs et à l'auto-évaluation.

Pour ce dispositif, le noyau central est l'apprenant, l'agent n'est pas présent, la formation étant sans tutorat. Cette contrainte sera prise en compte lors de la mise en place de l'ingénierie. Le message est défini par la construction du dispositif et s'adresse aux acteurs du spectacle vivant sur un ton académique reflétant l'institution du CNSMDP, le contexte est donné par la plateforme : activités, design, navigation. L'implémentation, c'est-à-dire le feedback ne doit pas simplement corriger mais pousser l'apprenant à traiter profondément l'information. De cette façon, le cortex préfrontal pourra restructurer ses connaissances face à ses prédictions sans l'assistance de l'agent prévu par le modèle MISCA.

Figure 12 : *Les effets et leviers de la rétroaction*



3.2.4. consolidation

La consolidation permet de passer d'un traitement des informations lent et conscient qui demande un effort conséquent à un fonctionnement rapide, inconscient et automatique. La routinisation est importante car elle libère les ressources du cortex. (Dehaene, 2018). La navigation dans les modules se devra d'être simple afin que l'automatisation puisse décharger les ressources du cortex des apprenants : la navigation fluide réduit la charge extrinsèque, ce qui libère des ressources pour la consolidation. "Sans aucun entraînement supplémentaire, les performances cognitives et motrices s'améliorent pendant le sommeil" (Dehaene, 2018, p.264) L'imagerie du cerveau humain montre que les circuits sollicités pendant la nuit se réactivent. Favoriser la consolidation impliquerait donc de concevoir des parcours qui encouragent la répétition et le fractionnement des modules ? On peut alors privilégier des modules courts et encourager les apprenants à fractionner leur formation sur plusieurs jours. Ce point sera approfondi dans la partie charge cognitive afin de définir plus clairement la durée idéale des modules.

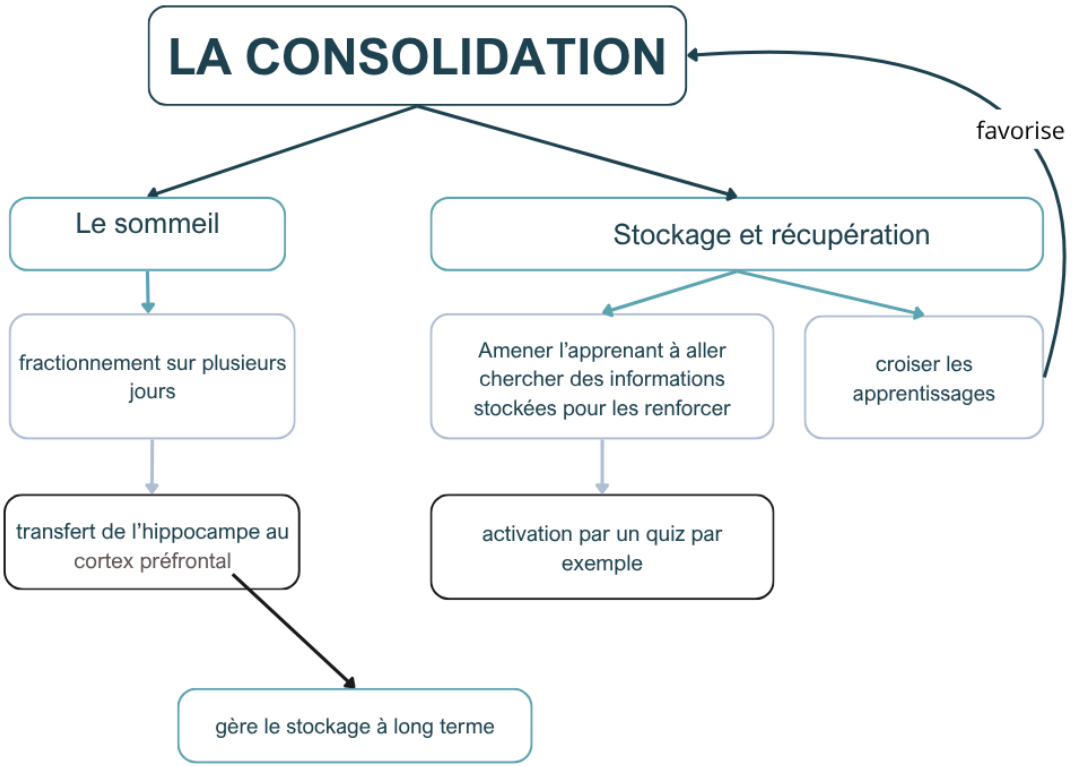
Bjork et Bjork (2011) reprennent cette notion de consolidation par la force de stockage et la force de récupération : la force de stockage c'est l'information qui est gravée et connectée aux prérequis, la force de récupération c'est la capacité à se souvenir d'une information. Pour renforcer ce système, il conviendrait donc de solliciter l'apprenant à aller récupérer les informations qu'il a stocké durant sa formation. Le système de récupération est un puissant outil d'apprentissage qui permet la consolidation des acquis. L'évaluation formative est un outil au service de la consolidation des acquis. Selon Bjork et Bjork (2011), le croisement de sujets d'apprentissage est un moyen d'obtenir l'espacement des connaissances qui favorise la consolidation des acquis. La pratique par bloc de connaissance est efficace sur l'instant T mais ne soutient pas la rétention des connaissances à long terme.

Selon Lafontaine et Lippé (2011) la consolidation demande à l'individu de se répéter ou de raisonner consciemment la notion d'apprentissage, l'information. Il existe aussi une consolidation inconsciente : une bonne nuit de sommeil est essentielle car elle permet de créer un "pont" solide entre deux zones du cerveau : l'hippocampe (qui stocke les souvenirs récents) et le cortex préfrontal (qui gère le stockage à long terme). Si vous ne dormez pas, ce transfert ne se fait pas. Ce processus est tellement puissant que cette connexion créée la nuit permet au cerveau de retrouver l'information très facilement, même six mois plus tard. Le sommeil permet donc de verrouiller l'apprentissage afin qu'il perdure dans le temps.

Afin que le savoir soit durable dans un dispositif e-learning, l'apprenant devra séquencer sa formation dans le temps : un planning de formation pourrait être proposé à l'apprenant en

amont afin de l'accompagner dans sa consolidation. Le dispositif devra proposer des activités de récupération comme le sont les quiz formatifs par exemple. (fig 13)

Figure n°13 : *La consolidation des savoirs des apprenants passe par différents processus*



3.3. La plasticité cérébrale comme fondement de l'inter-individualité

3.3.1. Le fonctionnement mémoriel

La mémoire est divisée en trois composantes : les registres sensoriels, la mémoire à court terme et la mémoire à long terme. Le transfert de la mémoire à court terme à la mémoire à long terme est un processus de stockage permanent des informations Les informations ne sont pas toutes stockées de la même façon : le codage peut se faire grâce à des données préexistantes ou non, la répétition basique stocke de manière faible tandis qu'il existe d'autres façons de coder permettant un stockage plus solide (Atkinson et Shiffrin, 1968).

Les registres sensoriels enregistrent les informations sur un laps de temps très court, inférieur à la seconde. Ces registres se différencient en fonction du type de stimulus reçu : il peut être visuel (mémoire iconique) ou encore auditif (mémoire échoïque). Ces registres ont été mis en évidence par Neisser en 1967 par un protocole expérimental strict (Rossi, 2018). Selon Lieury (2020), cette particularité permet de doubler les chances de traces mémorielles dans la mémoire à court terme afin de basculer ensuite dans la mémoire à long terme. Nous possédons une mémoire lexicale, une mémoire imagée, une mémoire “visuelle” différente de la mémoire iconique. La mémoire à court terme se présente comme une interface avec plusieurs fenêtres qui permet d’activer les parties spécialisées.

Selon Lieury (2020), la mémoire à court terme ne peut stocker en moyenne que 7 unités d’informations, plus ou moins 2 (ou 9 chiffres selon Rossi (2018)). Cette mémoire oublie massivement et rapidement les informations. Il est essentiel de construire des contenus de formation qui répondent à cette caractéristique du cerveau afin que l’apprenant puisse traiter les contenus. Selon Rossi (2018), l’oubli ne se produit que si l’apprenant n’en fait pas un traitement profond. Le travail de Sperling (1963) montre également que nous captons beaucoup d'informations visuelles d'un coup, mais que nous les oublions presque instantanément si nous ne les transférons pas immédiatement vers la mémoire de travail par l'attention. La mémoire visuelle ne devient réellement efficace que si l'apprenant peut observer un contenu suffisamment longtemps. En effet, une vision trop brève ne permet pas au cerveau de créer une 'boucle de répétition' mentale de l'image. À l'inverse, une exposition prolongée permet à l'apprenant de parcourir l'information visuelle à plusieurs reprises, d'en isoler des détails précis et de stabiliser ainsi l'information dans sa mémoire de travail avant qu'elle ne s'efface. Il est important de noter qu’une activité doit être conçue de manière à permettre à l’apprenant de fixer les informations visuelles et d’éviter un enchaînement d’images qui se révèlerait alors inefficace pour la rétention d’informations. La mémoire à court terme est donc une mémoire transitionnelle à manipuler avec précision afin de favoriser l’apprentissage. Selon Murdock (cité par Lieury, 2020, p. 162), une vision simplifiée consiste à dire que les deux mémoires (court et long terme) communiquent par un canal à capacité limitée : il compare cela à un tapis roulant qui jette les informations si elles sont trop vite enchaînées et n’ont pas le temps d’être rangées. Il est essentiel de prévoir dans les formations, des temps de transitions, de pause pour permettre le transfert des informations. Comment notre cerveau passe-t-il d’une mémoire à l’autre ?

Selon Baddeley (2000), en sciences cognitives, la mémoire de travail est un système à capacité limitée qui permet de stocker de manière temporaire les informations nécessaires à la réalisation de tâches complexes comme l’apprentissage, le raisonnement et la

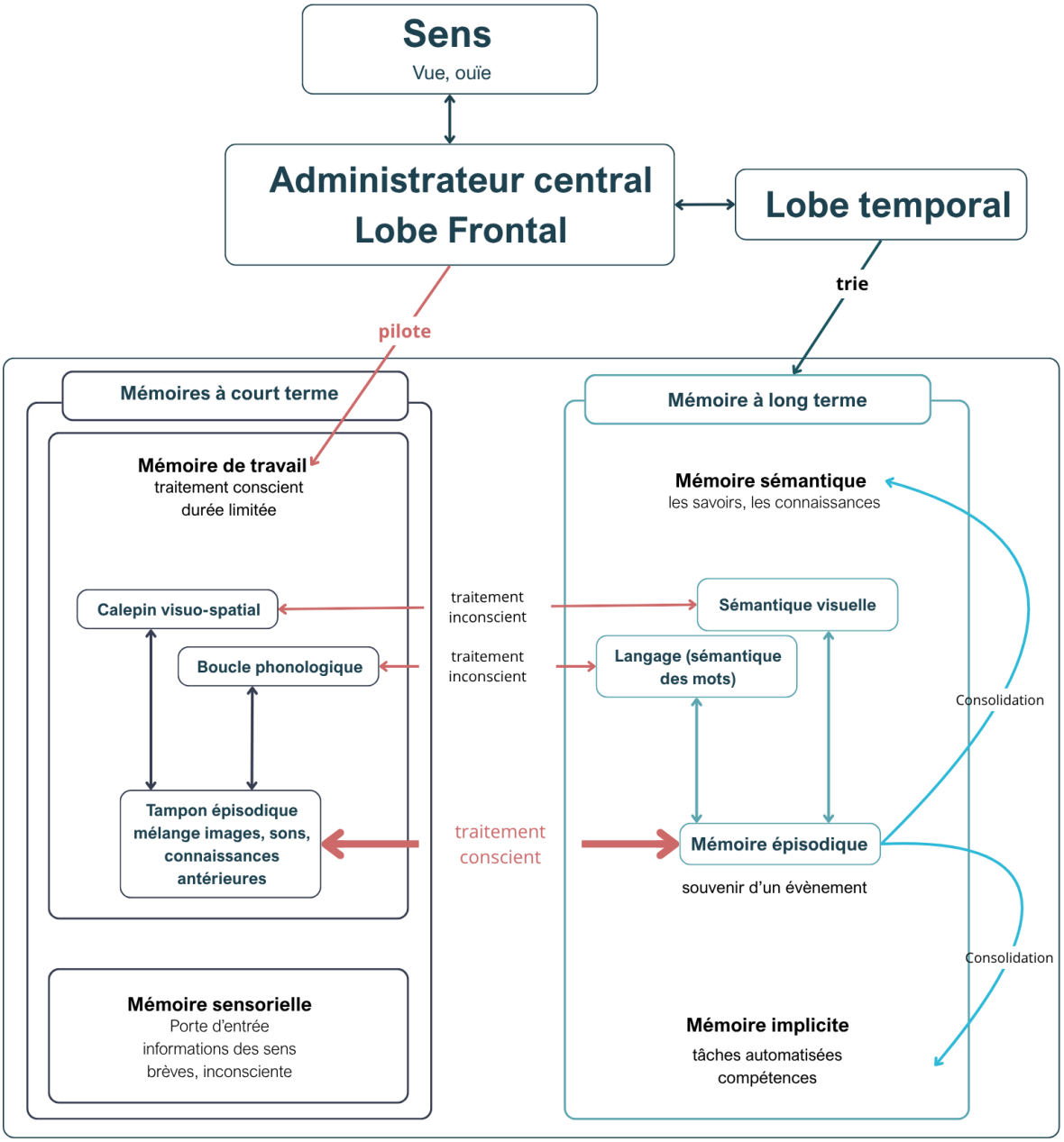
compréhension. Baddeley (1992) présente la mémoire de travail comme un système actif qui jongle avec les informations lorsque nous réfléchissons. Elle est un pont entre nos sens et notre cerveau à travers une boucle phonologique qui permet de retenir les mots et un calepin visuo-spatial qui est lié à notre vision. Ces deux éléments sont dirigés par l'administrateur central qui a pour rôle de focaliser l'attention : s'il est débordé, il ne peut plus fonctionner correctement et l'apprentissage s'arrête faute de ressources attentionnelles disponibles. Selon Baddeley (1992), il est important de souligner que la mémoire de travail n'est pas égale pour tout individu et qu'elle a un contenant limité en fonction de l'apprenant. Ce qui rejoint le point de l'inter-individualité qui sera évoqué dans la partie suivante. Cependant en 2000, Baddeley revoit son modèle pour y ajouter une nouvelle composante, le tampon épisodique. Ce tampon est utilisé de manière consciente pour résoudre un problème. Elle permet d'aller rechercher dans la mémoire à long terme les informations nécessaires à la résolution du problème. De manière inconsciente, la mémoire sémantique fait remonter directement les informations dans la mémoire de travail. Il a été vu précédemment que la mémoire de travail est activée par le cortex préfrontal.

Selon Lafontaine et Lippé (2011), le cortex préfrontal est un régulateur essentiel de l'apprentissage. Il est impliqué dans chaque phase du processus d'apprentissage et régule les interactions. Il permet de trier les informations perçues par nos sens afin que nous nous concentrions sur la bonne information et il interagit avec le lobe temporal pour ranger les nouvelles informations dans la mémoire sémantique et la mémoire implicite.

Les mémoires transitoires : les mémoires sensorielles, la mémoire à court terme et la mémoire de travail. Chacune possède ses spécificités en termes de durée et de capacité mnésique. Le passage vers la mémoire à long terme est possible avec un traitement profond des informations : elle permet de stocker des informations sur une durée allant de quelques minutes à plusieurs années (Rossi, 2018). (fig 14)

La mémoire sémantique est composée de schémas cognitifs stockés en mémoire permettant les inférences, qui sont produites grâce aux connaissances et facilitent la compréhension (Rossi, 2018). Les connaissances antérieures ont donc un rôle sur la compréhension. Ce point sera détaillé dans la partie consacrée à la charge cognitive.

Figure 14 : *Schématisation du fonctionnement de la mémoire*



3.3.2. Plasticité et variabilité

La neurogenèse (création de nouveaux neurones) reste limitée chez l'adulte et localisée dans l'hippocampe. Il est important de ne pas confondre neurogenèse et plasticité cérébrale. La neurogenèse se déroule principalement avant la naissance. Cependant, les connexions synaptiques,en particulier dans le cortex, se développent à terme au cours de la petite enfance et sous l'influence de l'environnement sensoriel : le cerveau se construit par le monde dans lequel nous avons grandi en plus de notre ADN.

Selon Vidal (2012), la structure du cerveau est capable de se modifier tout au long de la vie en créant de nouvelles connexions entre les neurones : c'est cela que l'on appelle plasticité cérébrale. Un exemple parlant dans notre contexte du CNSMDP, est l'étude réalisée par Gaser (cité par Vidal 2012) qui montre que les modifications du cortex sont liées à la pratique intensive instrumentale. Selon Gaser et Schlaug (2013) les musiciens apprennent des techniques motrices et auditives complexes, ce qui développe une forte plasticité cérébrale par rapport à des non musiciens et plus particulièrement lorsque la pratique a commencé dans l'enfance. Ce résultat confirme l'impact de la construction du cerveau durant l'enfance dont la plasticité est plus forte. Le cerveau des apprenants utilisant ce dispositif est déjà façonné par leur pratique artistique ou technique liée au secteur du spectacle vivant. Face à une formation, les mémoires sémantiques et implicites ne sont pas composées des mêmes connexions. Les remontées de la mémoire épisodique seront différentes d'un individu à l'autre. La plasticité cérébrale n'est pas égale tout au long de la vie, en effet l'enfance et l'adolescence sont des périodes où cette plasticité est particulièrement puissante. (Van Dijk, 2024).

Si cette plasticité n'explique pas tout, selon Dehaene (2018), notre cerveau s'est doté, au cours de son évolution, de ce qu'il appelle les quatres piliers de l'apprentissage, qui ont été évoqués précédemment, permettant d'extraire de plus en plus efficacement les informations de notre environnement. Selon Vidal (2012), les stimulations de l'environnement ont un impact sur la mise en place des circuits de neurones : la structuration du cerveau est liée à l'expérience de l'apprenant. Les prérequis de chaque apprenant dépendent de son milieu et de son expérience. Les acteurs du spectacle vivant viennent d'horizons très différents. Le dispositif aura besoin d'être flexible au regard de la diversité du public : la variabilité inter-individuelle est importante. Est-il nécessaire dans ce dispositif d'amener des prérequis, même basiques, afin de guider l'apprenant dans son choix de formation ? Faut-il certaines compétences en informatique, en numérique? Une liste de compétences de base permettant de suivre une formation serait-elle pertinente ? Ou un tutoriel facultatif qui permettrait par exemple aux moins expérimentés d'avoir des explications initiales afin de suivre la formation? Selon Dehaene (2018, p. 205) l'attention et l'apprentissage dépendent de signaux sociaux c'est-à-dire que là où un congénère demande de poser l'attention, on la pose, et ce que nous souhaitons apprendre est lié à ce que l'on veut enseigner. Dans le cadre de ce mémoire, les apprenants seront différents types de professionnels du spectacle travaillant dans différents milieux. Dehaene dit : "Notre cerveau (..) dispose de deux modes d'apprentissage : un mode actif, (...) et un mode réceptif, dans lequel nous absorbons ce que d'autres nous transmettent sans l'avoir personnellement vérifié. (...) Mais sans l'esprit critique qui caractérise le premier mode, le second est vulnérable à la propagation de toutes les fake

news. La vérification active des connaissances, le rejet du simple ouï-dire, la construction personnelle du sens sont des filtres essentiels (...)" (2018, p. 212-213)

Les profils sont très différents et un même élève peut se retrouver dans une phase de "fragilité" d'un moment à l'autre. C'est ce que de Ribaupierre (2015) appelle la variabilité intra-individuelle. Puisque cette plateforme est 100 % asynchrone et autonome, l'outil doit être capable de gérer ces hauts et ces bas tout seul. C'est pour cela que la flexibilité s'impose comme une nécessité : elle permet à l'apprenant de s'arrêter ou de revoir des bases quand il est dans une phase de "fragilité".

3.4. L'apprentissage multimédia et la charge cognitive

3.4.1. La charge cognitive et le double codage

Pour concevoir un environnement d'apprentissage multimédia efficace, il est essentiel de comprendre les mécanismes de la charge cognitive. Les ressources numériques du conservatoire ne pourront optimiser l'acquisition de connaissances que si elles sont conçues en respectant les capacités limitées de la mémoire de travail des apprenants. Comme expliqué précédemment, la mémoire de travail a une capacité limitée. Elle possède des schémas automatisés qui sont un levier important. En effet ces schémas permettent d'outrepasser ces limitations. Grâce à ce mécanisme, des structures de connaissances générales et automatisées peuvent être utilisées comme de simples unités d'apprentissage d'après la théorie de Sweller (Tricot, 1998). Ces schémas sont la résultante des connaissances de base de l'apprenant c'est-à-dire la résultante de la plasticité cérébrale de chacun. Ayant un public relativement homogène, comment optimiser l'apprentissage pour chaque individualité ? Existe-il un consensus qui permettrait de limiter la charge cognitive des apprenants ? Il serait peut-être intéressant de réfléchir en amont à découper les compétences nécessaires à une formation en unités, afin de pouvoir proposer, si nécessaire, des remédiations.

Selon Paas et al. (2003) la théorie de la charge cognitive a émergé dans les années 1980 et a connu un développement important dans le monde entier dans les années 1990. La charge cognitive c'est l'effort qu'un apprenant doit déployer pour apprendre. Il existe trois types de charges selon l'article de Paas et al. (2003). La première citée est la charge intrinsèque qui est l'interactivité entre les éléments nécessaires à la réalisation d'une tâche : plus il y aura d'éléments d'information à traiter et de relations entre ces éléments, plus la charge sera élevée. La deuxième catégorie, la charge cognitive extrinsèque, est la présentation des procédures pédagogiques (plus il y a d'informations inutiles, plus elle augmente), elle ne sert

pas à l'apprentissage en soi mais s'ajoute à la charge intrinsèque. Enfin, la charge germane (ou efficace), utile à l'apprentissage, correspond à l'utilisation des ressources pour l'acquisition des schémas : ce qui est souligné selon la théorie de Sweller (Tricot, 1998). Plus l'apprenant s'implique dans la tâche et plus la charge germane sera mobilisée. Cette charge dépend donc du concepteur pédagogique qui, en présentant de manière claire et stimulante l'apprentissage, encourage l'apprenant à utiliser les ressources disponibles afin de réfléchir. Il est important de noter que la somme des trois charges est additive et ne peut dépasser les ressources de mémoire de travail disponibles pour acquérir des connaissances (Paas et al., 2003).

Selon la théorie de Sweller (Tricot, 1998) il existe des mécanismes permettant de réduire la charge cognitive parmi lesquels la résolution de problèmes. Si le but d'un problème est connu, afin de le résoudre, l'apprenant doit avoir en mémoire (de travail) ce but, l'état actuel des choses et les moyens pour y parvenir. La mémoire de travail se retrouve chargée. Le choix des activités doit donc prendre en compte les ressources nécessaires à la réalisation d'une activité. Donner la solution du problème, bien que cela ne soit pas intuitif, favorise l'apprentissage puisque la charge cognitive sera diminuée et l'apprenant pourra alors se concentrer sur les schémas à construire. Ensuite, toujours selon Sweller (Tricot, 1998), la dissociation de l'attention est coûteuse en charge cognitive. Il s'avère essentiel de laisser les informations nécessaires physiquement accessibles lors de la réalisation d'une activité (par exemple, un schéma doit contenir directement ses explications). La redondance d'informations dont les caractéristiques seraient compréhensibles de manière isolée est aussi un facteur de charge cognitive inutile. Cependant il ne faut pas confondre la redondance d'informations avec la dissociation de l'attention qui s'exprime lorsque les informations ne sont pas compréhensibles si elles sont isolées, comme par exemple un schéma où la légende ne serait pas située directement avec le schéma. Ces deux informations essentielles dépendent du niveau de l'apprenant et de son expertise : en effet une image et un texte peuvent diminuer la dissociation de l'attention pour un novice mais devenir une redondance d'informations pour un expert (Tricot, 1998). Dans ces formations, le public peut être totalement débutant, initié ou encore familier avec le sujet de formation qu'il souhaite soit prendre en main, soit approfondir. Comment gérer cette multitudes de profils dans le choix des activités de formation ?

Dans ce dispositif, l'apprenant est seul face à l'interface. Il sera donc essentiel de réduire la charge extrinsèque de l'apprenant (interface, consignes…) afin que l'espace de la mémoire de travail soit disponible pour la charge germane qui permet l'apprentissage profond (Paas et al., 2003). Concrètement comment mesurer cette charge alors qu'elle n'est pas visible ?

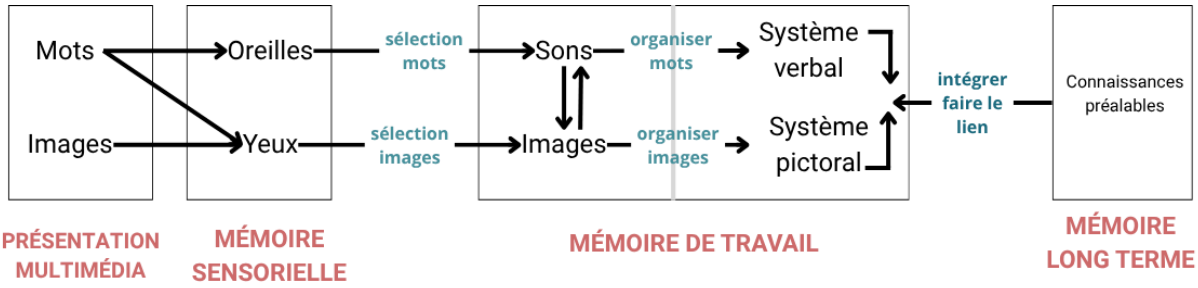
Selon Brünken et al. (2003) il existe deux critères de mesure : objectif ou subjectif et direct ou indirect. Prenons pour exemple l'échelle de Paas qui est fréquemment utilisée dans la recherche actuelle de la charge cognitive : c'est une méthode de mesure subjective indirecte puisque l'apprenant évalue lui-même son ressenti par le biais d'un questionnaire rédigé via une échelle d'évaluation de l'effort mental. Toujours selon Brünken et al. (2003), il existe aussi des mesures objectives indirectes comme l'observation de la pupille ou le rythme cardiaque mais cette méthode est limitée car les signes peuvent être liés à un stress ou une émotion forte sans lien avec la formation étudiée. L'imagerie cérébrale est une méthode de mesure directe mais beaucoup plus complexe à mettre en place : l'environnement n'est pas confortable pour l'apprenant et la machinerie n'est pas accessible financièrement. Cependant il existe la méthode de la double tâche : cette mesure est directe et objective. Elle est basée sur la demande de réalisation d'une tâche secondaire simple à l'apprenant, le temps de réponse à cette tâche secondaire donnant une preuve directe de la charge cognitive. Plus le temps est élevé, plus la mémoire de travail est saturée par la formation en cours. L'apprenant doit donc effectuer deux tâches : la principale et la secondaire. Ces deux tâches doivent nécessiter les mêmes ressources (visuelles/visuelles ou auditives/auditives…) afin de mesurer la répartition de ces deux tâches. La tâche secondaire doit être simple de telle manière qu'elle ne supprime pas le processus d'apprentissage en cours. La double tâche est une tâche de surveillance qui, lorsqu'une réaction est nécessaire, demande une coordination qui consomme les ressources disponibles. Cependant la charge cognitive varie de manière significative entre les différents individus selon le niveau d'expertise de l'apprenant. Une conception pédagogique optimale peut aussi être une entrave à la construction des connaissances pour un autre apprenant (Brünken et al. 2003). Ce qui nécessiterait, au cœur de chaque formation, des parcours spécifiques selon le niveau des apprenants et de pouvoir proposer des conceptions pédagogiques adaptées pour chaque apprenant. Cette théorie est-elle applicable dans un contexte professionnel avec des contraintes de production ?

La théorie du double codage de Paivio, analysée par Lieury et Galvez (1986) explique que lorsque le cerveau voit une image, il enregistre l'image et nomme l'objet dans la tête (qu'il appelle la dénomination implicite) : l'information est stockée deux fois. Cependant selon Lieury et Galvez (1986) ce mécanisme n'est pas instantané (il faut au moins 500ms) et nécessite une clarté de l'image afin que le double codage se mette en place : si l'apprenant ne décode pas l'image facilement alors sa charge cognitive augmente fortement. Tricot (1998) relève des études de Sweller que la charge de la mémoire de travail est moins importante lorsque l'information est présentée sous ces deux canaux différents (visuel et auditif par exemple). Dans ce dispositif, l'apprenant dispose du temps qu'il souhaite pour

regarder les images, cependant il faudra être vigilant à leur clarté : les représentations devront être claires et laisser le temps au double codage de se mettre en place. La figure 15 ci-dessous montre la complexité de l'apprentissage : l'apprenant doit d'abord sélectionner puis organiser les mots et images avant de les stocker. Le schéma met en avant le principe de double codage de Paivio mais aussi la limite de la mémoire de travail qui ne peut pas traiter un nombre élevé d'informations comme précisé dans la partie précédente.

Figure 15 : Modèle cognitif de l'apprentissage multimédia

Source : l'auteure, d'après Mayer (2011)



L'apprenant est seul dans ce dispositif de formation asynchrone. Il est donc essentiel de réduire la charge extrinsèque et de respecter le temps du double codage. Si on ne laisse pas le temps nécessaire au cerveau pour nommer ce qu'il voit, on crée une surcharge inutile qui empêche l'apprentissage profond.

Une nouvelle notion apparaît dans le schéma : la présentation multimédia. Ce terme sera étudié dans la partie suivante afin de faire le lien entre pertinence des choix de supports et charge cognitive.

3.4.2. L'apprentissage multimédia : les principes de Mayer

Selon Mayer (2020), l'apprentissage multimédia est l'utilisation de supports de présentation qui emploient à la fois des images et des mots. Le texte peut être sous la forme écrite ou sous la forme orale, les images peuvent être des illustrations, des graphiques, des photos, des cartes, des animations, des vidéos… Cette définition couvre la grande majorité des scénarios pédagogiques. Ce qu'il appelle apprentissage multimédia se réfère finalement plus à un mode de présentation qui contient deux formats différents. L'apprentissage multimédia repose sur l'hypothèse que le cerveau possède deux systèmes de traitement distincts : un pour l'information verbale et l'autre pour l'information visuelle. On retrouve ici le double codage de Paivio explicité dans la partie précédente. L'idée est que présenter l'information dans un seul format reviendrait à négliger l'autre système. La supériorité de deux systèmes par rapport à un seul réside dans le fait que l'information est traitée deux fois plutôt qu'une.

Cependant, il est important de noter que les canaux verbal et visuel n'ont pas la même fonction. L'image peut faciliter la compréhension des mots, tandis que les mots sont mieux adaptés aux représentations nécessitant un effort cognitif plus important. Ce sont finalement les connexions établies entre les représentations picturales (visuelles) et verbales qui permettent de construire un apprentissage significatif. (Mayer, 2020)

Toujours selon Mayer (2020) il est essentiel de favoriser un apprentissage cognitif actif : il est possible d'avoir une activité passive, non interactive mais qui nécessite de la part de l'apprenant de se construire des représentations lui-même. À l'inverse, un exercice interactif peut ne pas stimuler l'apprentissage cognitif actif. L'interactivité n'est pas gage d'apprentissage cognitif actif et se révèle être un élément important dans le choix des activités dans l'outil auteur. Lors de la construction d'apprentissage multimédia il est important de prendre en compte ce paramètre et se demander si le support multimédia permet de favoriser l'apprentissage cognitif actif.

Selon Mayer et Moreno (2003) il existe neuf solutions concrètes pour éviter une surcharge cognitive. Ces résultats, obtenus après 12 ans de recherches, prouvent qu'une bonne conception pédagogique doit être sensible à la charge cognitive. c'est-à-dire que pour créer un support efficace, il faut d'abord comprendre comment le cerveau humain traite l'information. Les auteurs ont résumé les trois types d'exigences de traitement cognitif dans l'apprentissage multimédia : la surcharge cognitive survient quand la somme des trois types d'exigence (le traitement total) dépasse la capacité cognitive de l'apprenant. Réduire la charge revient à redistribuer afin de réduire l'un ou plusieurs types de traitement cognitif. Mayer et Moreno (2003) définissent les trois types de traitement :

- le traitement essentiel qui donne du sens à la situation d'apprentissage en incluant la sélection, l'organisation et l'intégration des mots et des images.
- le traitement incident qui est non essentiel face à la situation d'apprentissage,
- le maintien des représentations qui conserve en mémoire de travail les représentations verbales et visuelles

L'annexe 5, présente l'intégralité du tableau des méthodes de réduction cognitive dans l'apprentissage multimédia qui sera synthétisé dans ce paragraphe. Selon Mayer et Moreno (2003), chaque méthode de réduction est mesurée par la taille d'effet.

La taille d'effet selon Roques (2023) est un indicateur de l'ampleur d'un effet mesuré par un écart type. Initialement théorisée par Cohen en 1988, elle connaît des variantes (Hedges, Glass) adaptées à la taille ou à la nature des échantillons. Mais il faut retenir que la taille

d'effet dans le tableau de Mayer et Moreno indique l'efficacité de la méthode de réduction cognitive.

Selon Mayer et Moreno (2003), les méthodes les plus efficaces (dépassant le seuil 1 écart-type) sont :

- La segmentation ($d = 1,36$) : découper le contenu en petits segments avec des pauses, laissant à l'apprenant le contrôle du rythme
- Le déchargement modal ($d = 1,17$) : transférer une partie de l'information du canal visuel vers le canal auditif, en remplaçant le texte à l'écran par une narration
- La synchronisation ($d = 1,30$) : présenter l'animation et la narration simultanément plutôt que l'une après l'autre
- Le pré-entraînement ($d = 1$) : enseigner en amont les noms et caractéristiques des composants clés avant d'aborder le contenu principal

Les méthodes d'élagage ($d = 0,90$), supprimer tout matériel intéressant mais non essentiel, et d'élimination de la redondance ($d = 0,69$), éviter de présenter simultanément le même contenu à la fois en audio et en texte à l'écran, restent utiles mais jouent davantage un rôle de soutien, en allégeant la charge parasite plutôt qu'en optimisant directement le traitement essentiel.

3.5. L'ergonomie

3.5.1. Les critères de Bastien et Scapin

L'ergonomie est définie selon Bastien et Tricot (2008) comme une démarche centrée sur l'utilisateur visant à identifier les « difficultés d'usage », chaque situation demande un protocole particulier afin de répondre au mieux à la demande des contraintes. Dans le cadre d'une structure de formation unique via un outil auteur de conception, l'application des critères de Bastien et Scapin permet d'anticiper ces difficultés.
Il existe huit heuristiques : le guidage, la charge de travail, le contrôle explicite, l'adaptabilité, la gestion des erreurs, l'homogénéité et la cohérence.
Le guidage se décline en plusieurs sous-critères : l'incitation, le feedback immédiat, le groupement et la distinction des informations et la lisibilité. Le guidage permet de canaliser l'attention de l'apprenant ainsi que de diminuer la charge extrinsèque.
La charge de travail évalue l'effort cognitif. Cet aspect des critères est évaluable via les principes de Mayer et la mesure de la double tâche de Brunken et al. Les informations doivent être brèves et la densité informationnelle mesurée.

Le contrôle explicite permet à l'apprenant de réaliser le parcours de manière fluide, lui garantissant la maîtrise du déroulement des interactions. Dans le cas présent, les heuristiques vont guider la conception pédagogique. Elles serviront de cadre de référence en gardant à l'esprit que chaque interaction numérique puisse soutenir l'apprentissage tout en prenant soin de ne pas créer de surcharge cognitive.

3.5.2. Le design émotionnel

Selon Mayer et Zaho (2025), l'émotion positive d'un apprenant entraîne une connexion sociale avec le formateur. Or, il a été vu avec Dehaene (2018) l'importance des signaux sociaux dans l'apprentissage. Dans ce dispositif, le formateur est l' interface, le design proposé doit permettre à l'apprenant de s'engager pleinement. Um et al. (2012), au travers des résultats de recherches, soulignent que l'affect positif peut améliorer la cognition de multiples façons. Cependant les éléments de design doivent être informatifs et reliés à la formation pour que les bénéfices soient effectifs (Mayer et Zaho, 2025)

***Figure n°16** : tableau extrait de l'article de Mayer et Zhao (2025)*

TABLE 1 | Descriptions and intended impact of three groups.

Treatment	Description	Affective impact	Cognitive impact
The original slides	Black-and-white line drawings	Low affective support	Low cognitive support
General affective features	Add colour and positive features to main elements in drawings	High affective support	Low cognitive support
Theme-specific affective features	Add colour and appropriate positive or negative features to theme-based features; add theme-based cartoon characters	High affective support	High cognitive support

Ce tableau, provenant de l'article de Mayer et Zhao (2025) (fig 16), montre qu'une diapositive colorée et positive a un impact affectif plus fort qu'une image en noir et blanc, cependant l'impact cognitif reste faible contrairement à une diapositive colorée et positive qui propose des éléments basés sur le thème ou des personnages de dessins animés basés sur le thème. Selon Brom et al (cités dans Mayer et Zhao, 2025) plusieurs études ont souligné une augmentation de disponibilité de la charge intrinsèque donc plus de disponibilité cognitive pour pouvoir résoudre des problèmes et créer de nouveaux apprentissages avec l'utilisation d'illustrations colorées. Les sentiments positifs ont tendance à diminuer la difficulté perçue. Cependant Pang et al. (cités dans Mayer et Zhao, 2025) n'ont pas relevé d'efficacité supplémentaire grâce au design émotionnel dans l'amélioration de l'apprentissage. Selon l'étude menée par Mayer et Zhao en 2025, les éléments de design favorisant des émotions positives, comme l'utilisation de couleurs chaudes (orange, rose, le rouge étant vécu comme une alerte ou une erreur), de formes douces (arrondies) et d'éléments visuels

anthropomorphes (personnages avec des expressions faciales) ont également un impact positif sur la performance d'apprentissage des étudiants. Cet effet est particulièrement notable lorsque ces caractéristiques de design sont directement alignées sur les thèmes centraux de la leçon. Um et al. (2012) ont montré qu'apprendre avec le design émotionnel permet une meilleure compréhension et un meilleur transfert de connaissances mais aussi une perception positive de l'apprentissage.

Cazes (2025) a montré que l'émotion est un moteur essentiel de l'engagement actif. Dans une formation e-learning, ce levier permet à l'apprenant de s'engager pleinement dans la formation. Selon l'étude de Mayer et Zhao (2025), les résultats suggèrent, dans l'ensemble qu'il est bénéfique d'inclure des éléments qui suscitent des émotions et qui sont directement liés au sujet traité dans les outils d'enseignement. Cependant, des études supplémentaires sont nécessaires pour mieux comprendre comment l'intégration d'éléments affectifs positifs influence l'apprentissage des élèves. L'utilisation de design émotionnel peut aussi apporter des informations complémentaires et orienter les apprenants vers des éléments clés. Les médias devraient prendre en compte l'émotion induite par la conception du dispositif comme un facteur qui affecte les résultats. Les émotions positives sont un élément important à intégrer dans la conception pédagogique (Um et al., 2012).

4. Ingénierie mobilisée

L'intervention s'est déroulée dans le cadre d'un dispositif dont les principaux axes : outils, arborescence, charte pédagogique et graphique, étaient préexistants. Dès lors, la mission ne fut pas de concevoir une ingénierie *ex nihilo*, mais d'assimiler ce cadre, d'y apporter des contributions ponctuelles et, surtout, d'en réaliser une analyse approfondie.
Afin d'analyser la pertinence de la scénarisation déjà conçue et guider les propositions de développement, les tests effectués reposeront sur les heuristiques de Bastien et Scapin ainsi que sur les recherches en neurosciences. L'objectif est de concevoir un environnement d'apprentissage adapté au projet du conservatoire augmenté.
La posture choisie est celle d'une ingénieure-analyste permettant de comprendre en profondeur les mécanismes de l'apprentissage dans le but d'identifier les leviers d'efficience du dispositif et pouvoir y ajouter des propositions pertinentes permettant de rester dans le cadre existant.
Plusieurs formations sont conçues en parallèle dont la facture instrumentale et sa transition écologique, le statut des artistes intermittents, la gravure sous musescore et le statut des artistes auteurs.

4.1. Le modèle d'ingénierie

Le contenu des formations au sein du conservatoire augmenté est rédigé par un expert métier. Le travail d'ingénierie consiste à transposer ce contenu en formation e-learning répondant aux exigences du public cible : les acteurs du spectacle vivant. La variabilité individuelle est importante et influe sur la plasticité cérébrale qui se modifie tout au long de notre vie (Vidal, 2012). Cette hétérogénéité s'explique non seulement par l'âge mais aussi les différents parcours : chaque professionnel de la musique ne développe pas les mêmes schémas ou connexions neuronales tout au long de sa carrière.

Il convient de noter que l'organisation était déjà établie au début de la mission : trois points de cadrage minimum sont prévus entre l'ingénieur pédagogique et le SME. Le premier permet de poser le cadre de travail avec l'expert, le deuxième permet de vérifier l'avancée du travail et si l'expert a réussi à répondre au cadre d'écriture et un dernier rendez-vous afin de finaliser le travail. Des fichiers de support ont été mis en place pour le travail collaboratif entre le SME et l'ingénieur pédagogique.

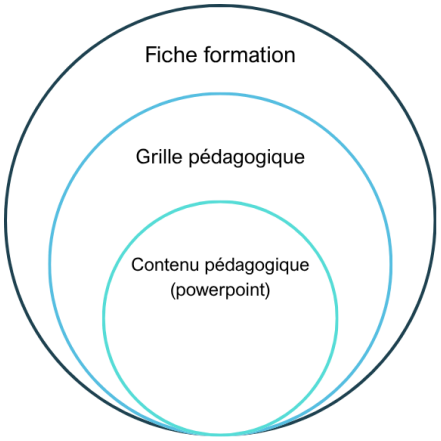
Le premier document, écrit en collaboration avec l'expert, est une fiche de formation (syllabus) présentant le contenu global de formation, un plan détaillé des grands axes abordés, les objectifs opérationnels et le calendrier prévisionnel. La grille pédagogique sert à la transposition didactique : le savoir académique est découpé en parties, chapitres contenant chacun les objectifs pédagogiques et leçons. Le troisième document sous format PowerPoint, construit avec une slide par leçon, permet au SME de rédiger le contenu brut. Ce document est collaboratif, l'ingénieur pédagogique construit le plan contribuant à guider le SME dans son écriture. Une fois ce troisième document finalisé, l'ingénieur pédagogique scénarise la formation et l'intègre via l'outil auteur (ScormStack).

Une fois le contenu intégré, le responsable pédagogique effectue une relecture sur la formation en question. Cette relecture permet de réajuster les choix pédagogiques des activités lorsque cela est nécessaire. Une repasse sur la formation permet d'appliquer les corrections données par le responsable, via des blocs de texte codifiés par la couleur rouge. Ensuite l'expert lit, à son tour, toute la formation et a la possibilité de faire des commentaires pour pallier les éventuelles erreurs. Une fois ces corrections réalisées par l'ingénieur pédagogique, la responsable éditoriale lit l'entièreté de la formation à son tour afin de s'assurer de la cohérence typographique, les éventuelles erreurs grammaticales, orthographiques…

Ce travail de construction de formation en collaboration avec le SME et l'équipe répond à une méthode itérative, en effet chaque étape permet de réajuster et améliorer le contenu. Cette approche s'inscrit dans la méthodologie SAM (pour Successive Approximation Model

que l'on peut traduire par « Modèle d'itérations successives ») par opposition au modèle ADDIE, lequel suit une logique séquentielle en cascade.

Figure 17 : *représentation des documents du micro au macro*



Dans le cas présent, la fiche formation est le prototype macro de la formation qui permet de valider le périmètre, la grille pédagogique est le niveau méso qui permet de transposer en contenu didactique : affiner l'ordre, découper si un chapitre est trop dense, réajuster. Enfin le niveau micro avec le powerpoint qui contient les premiers éléments d'intégration pédagogique discutés en partenariat avec l'expert. (fig 17)

"Le modèle d'approximation successive (SAM), qui, avec des similitudes avec des modèles de développement logiciel contemporains tels que Agile, la programmation extrême (XP) et SCRUM, utilise l'itération, les cycles de travail courts et d'autres techniques pour produire le meilleur produit possible indépendamment des contraintes situationnelles." (Allen, 2012, p 1, traduit par l'auteure)[1]

Ce modèle de travail a permis d'ajuster les choix en parallèle des recherches réalisées. Les heuristiques de Scapin ont été un guide de conception : les deux premiers heuristiques ont été retenus : le guidage et la charge de travail, deux heuristiques permettant de se questionner sur la problématique de conception de formation.

4.2. La conception d'une formation accompagné des heuristiques de Scapin

Le premier heuristique qui a accompagné la conception est le guidage selon Bastien et Scapin. Le guidage c'est l'ensemble des éléments permettant à l'apprenant, dans un dispositif, de le guider, conseiller, alerter et renseigner comme déterminé dans la partie 3. Chaque formation suit une arborescence précise détaillée dans la partie 2 (Annexe). Chaque leçon est composée de différents blocs reprenant une structure régulière de titres sur trois

[1] "the Successive Approximation Model (SAM), which, with similarities to such contemporary software development models as Agile, Extreme Programming (XP), and SCRUM, uses iteration, short work cycles, and other techniques to produce the best possible product regardless of situational constraints."

niveaux différents. Cette structure répétitive limite la charge extrinsèque afin de mobiliser la charge essentielle nécessaire à l'apprentissage selon Sweller et Paas et al. Ce choix de conception est la base de scénarisation pédagogique de chaque contenu de leçon donnée par le SME. Chaque leçon commence par une introduction et se conclut par une phrase de transition. Ce liant pédagogique assure la continuité narrative entre les leçons évitant l'effet de rupture d'un sujet à l'autre. En guidant l'apprenant vers l'étape suivante, cette transition renforce la cohérence globale du parcours.

A l'intérieur des formations, un bloc contient un cadre de couleur (couleur reliée à la catégorie de formation), contenant une note importante, un élèment à faire ressortir (fig 18). Il convient de noter que cet élément permet à l'apprenant un effet de surprise par le changement de couleur et constitue un état d'alerte dans un premier temps (Lieury, 2020). Ce stimulus revenant lorsque nécessaire signale alors à l'apprenant d'un point d'attention particulier aidant le filtre attentionnel à prioriser l'attention (Cherry, 1953). Ce bloc unitaire est donc à utiliser avec discernement afin de ne pas perdre de son efficacité en devenant un signal redondant qu'on ne remarque plus.

***Figure 18** : capture d'écran du bloc "point d'attention" en fond couleur rose caractéristique des formations liées au droit.*



LE SALAIRE

Une rémunération salariale pour la réalisation concrète de la conception artistique, couvrant la préparation du spectacle ou du tournage, les répétitions, le choix et la direction des interprètes et techniciens, ainsi que l'ensemble des travaux contribuant à l'élaboration de l'œuvre finale.



LES DROITS D'AUTEUR

Des droits d'auteur au titre de la conception intellectuelle de l'œuvre, calculés en principe proportionnellement aux recettes tirées de son exploitation. Dans le cas du réalisateur, le contrat qui le lie à son producteur doit clairement distinguer ces deux types de rémunération.

COTISATIONS SOCIALES

Les cotisations sociales du régime des artistes auteurs ne s'appliquent qu'à la fraction de rémunération juridiquement qualifiée de droits d'auteur.

Ce bloc favorise la mise en avant des informations essentielles (Medjad et al., 2017). Le choix de surligner en gras les éléments importants de la leçon contribue aussi à cette mise en avant : ces éléments sont des entités et non un mot seul permettant de mettre en avant un concept ou une définition essentielle à la formation.

Ce premier point est la porte d'entrée dans la conception des formations. Pour chacune des intégrations, la structure est respectée grâce à l'élaboration d'une base de travail (templates). Le guidage a une incidence directe sur la charge cognitive et la mémoire, en effet, selon Paas et al. (2003), la charge extrinsèque correspond à la charge utilisée pour naviguer et comprendre les interactions avec l'interface.

Le second heuristique retenu est la charge de travail en lien avec les recherches sur la charge cognitive. La mémoire de travail constitue un levier important à prendre en compte dans l'efficacité de formation. En effet, c'est elle qui fait le pont entre les unités d'apprentissage et le stockage dans la mémoire à long terme (Baddeley, 1992). La charge de travail influe sur son fonctionnement au travers des trois charges cognitives (Paas et al. 2003). La transposition didactique vise à structurer le savoir brut en unités d'apprentissage qui répondent au principe de segmentation de Mayer (2020). Cela permet à l'apprenant de traiter une petite quantité d'informations avant de passer à la suivante, évitant ainsi de saturer sa mémoire de travail. Cette transposition demande aussi de restructurer le contenu afin de diminuer la charge intrinsèque liée à la complexité propre du contenu selon la définition de Paas et al. (2003) : plus il y aura d'éléments d'information à traiter et de relation entre ces éléments, plus la charge sera élevée.
La première formation transposée concernait la transition de la facture instrumentale. Pour cette formation, le cycle itératif n'a pas pu être totalement respecté étant donné que l'expert s'est très vite plongé dans de l'écriture de contenu. Une fois lancé dans l'écriture, il ne s'est pas avéré judicieux de le couper pour reprendre le cycle itératif. Il a fallu s'adapter en effectuant un travail de restructuration, sur un chapitre de la formation en particulier. Cette formation concerne les formalités administratives d'obtention d'un permis de voyage pour les instruments contenant des espèces menacées, assez complexes à comprendre et en perpétuelle évolution avec les changements de lois. Afin de réduire la charge cognitive intrinsèque, l'ordre des informations a été redéfini afin d'obtenir un déroulé fluide et cohérent : par exemple, certaines informations ont été regroupées au même endroit et certains contenus très dense ont été découpés en unités plus petites pour éviter la surcharge d'informations à traiter. (Fig 19 et 20)

Figure 19 : *Screenshot du contenu de formation brut par l'expert concernant les différents formats de permis nécessaire à la circulation des instruments.*

• **LES PERMIS CITES** : en tant que musicien, plusieurs situations peuvent se présenter à vous et nécessiter différents types de permis. Cela peut être un achat, une revente de votre instrument ou un voyage international que vous effectuez avec. • 1 - Quel permis pour le commerce d'instruments de musique contenant des espèces CITES ? • 2 – Cas du commerce intra-UE • 3 - Quel permis pour le transport à but non commercial d'instruments de musique contenant des espèces CITES (voyage du musicien) **a. Pour les transitions commerciales (achat, vente)** - **PERMIS EXPORTATION** : Spécimen en provenance du pays où l'arbre a poussé - **CERTIFICAT RÉEXPORTATION** : Spécimen importé puis exporté - **PERMIS IMPORTATION** : Spécimen Annexe I importé et dans le cas de l'UE, plus restrictive, également obligatoire pour chaque exportation ou réexportation à destination de l'UE d'un spécimen inscrit à l'Annexe II ou III. - **CERTIFICAT INTRA-COMMUNAUTAIRE (CIC)** : Permis spécifique à l'UE pour les spécimens inscrits à l'annexe A (Annexe I) du règlement de l'UE. Le CIC est requis préalablement à chaque mise en vente, vente et achat concernant un client établi dans l'UE, y compris lorsque vendeur et acheteur sont établis dans le même pays. **b. Pour les transactions non commerciales (passage de frontières)** - **CERTIFICAT D'INSTRUMENT DE MUSIQUE (CIM)** : Le CIM constitue une sorte de passeport CITES permettant les passages transfrontaliers des instruments de musique dans un cadre non commercial (voyage du musicien ou d'un ensemble de musique dans le cadre d'un concert par ex.) - **CERTIFICAT POUR EXPOSITION ITINERANTE (PERMIS Q)** : Cas particulier où le spécimen exporté est destiné à revenir en l'état sur le territoire (valable 3 ans). Dans un cadre non commercial. Choisir ce permis pour exposer un spécimen Annexe I à un salon d'exposition hors UE par exemple ou pour le déplacement d'un orchestre. - **CERTIFICAT COLLECTION D'ECHANTILLONS (PERMIS T)** : Identique au permis Q mais doit être accompagné d'un carnet ATA (valable seulement 6 mois) (à enlever)	Infographie interactive propre aux Permis Voir script : https://cnsmdplus.sharepoint.com/:p:/r/sites/ConservatoireAugment/_layouts/15/Doc.aspx?sourcedoc=%7B7351DC17-8207-4372-873C-DDD1D2F4C81F%7D&file=permis%20CITES%20fonctionnement.pptx&action=edit&mobileredirect=true (écriture en cours, voir PPT annexe pour scripts)

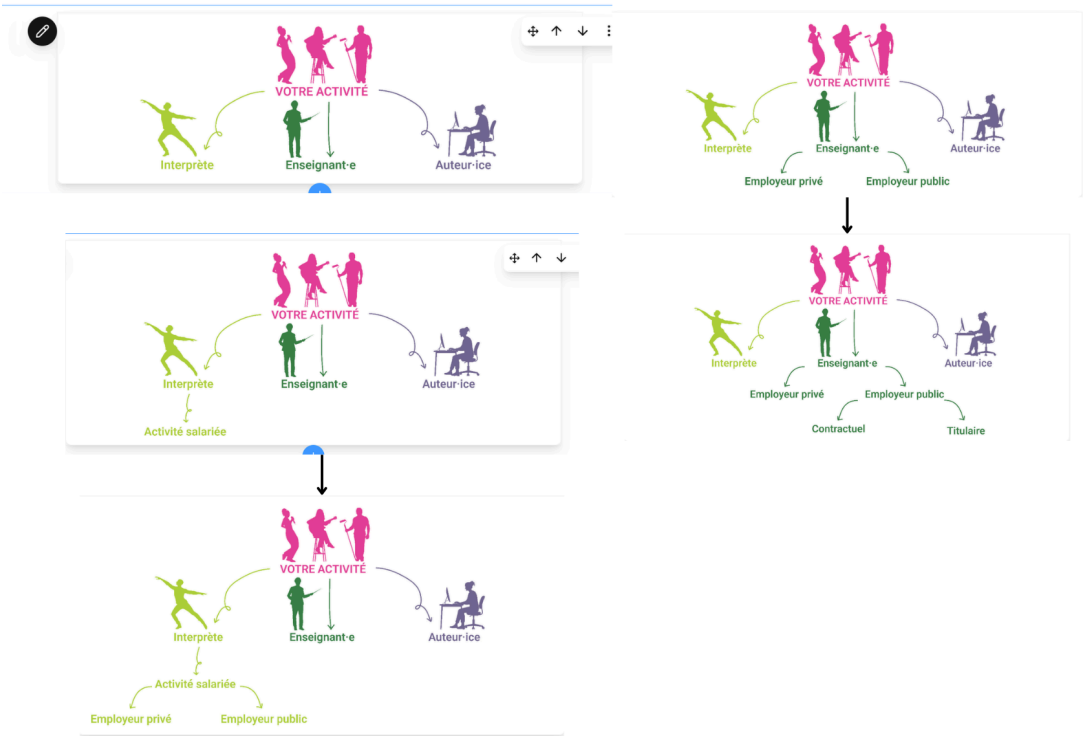
Figure 20 : *Screenshot de la scénarisation proposée avec découpages en plusieurs unités d'apprentissage notamment avec l'image cliquable qui contextualise visuellement chaque situation (double codage de Paivio)*



Afin de limiter l'utilisation de la charge cognitive intrinsèque, le nombre d'informations à traiter en parallèles doit être mesuré. (Paas et al., 2003) Le choix de conception de l'activité sous storyline repose sur ce principe : toutes les informations nécessaires sont regroupées au même endroit, une seule information est à trouver, le résultat se calcule automatiquement permettant à l'apprenant de se concentrer sur le sens de la tâche : le niveau sonore journalier. Le contenu brut de la formation CSFI contenait aussi beaucoup d'éléments à traiter en parallèle. C'est pourquoi lors de l'intégration, le choix d'élaguer (Mayer et Moreno) a été fait pour proposer des contenus sous forme plus condensée.

La charge germane est nécessaire et indispensable à l'apprentissage selon Sweller : le choix de conception d'activité engageante repose sur le fait que, plus l'apprenant s'implique dans la tâche, plus la charge germane sera mobilisée. Les leçons contiennent des blocs interactifs présentant des questions à choix multiples, questions à choix unique, des associations d'idées ou encore des textes à trous. Ces éléments sont utilisés de manière récurrente dans chaque formation. C'est le cas, par exemple, pour la formation concernant l'intermittence du spectacle où chaque leçon se termine par une interactivité demandant à l'apprenant de remobiliser ce qui vient d'être étudié. Dans cette formation, l'apprenant peut aussi voyager dans sa propre situation professionnelle, cela lui permet de s'impliquer dans l'activité et de connaître les différents statuts qui s'offrent à lui dans sa carrière professionnelle. (fig 21)

Figure 21 *: activité permettant l'engagement de l'apprenant et solliciter la mémoire germane, l'apprenant clique sur le statut qui lui correspond ou découvre un autre statut qui l'intéresse. Cette activité reprend les éléments de la leçon.*



Cet exemple illustre aussi le choix d'avoir basculé sur la plateforme ScormStack qui propose cette activité de navigation rapide à mettre en place. Storyline permet également ce genre d'activité mais nécessite un temps de production plus long car la conception de chaque déclencheur doit être intégrée manuellement, alors que la version ScormStack de l'activité contient déjà la possibilité de créer les différents chemins déclencheurs. Cela permet de gagner un temps précieux d'intégration.

La gestion de la charge cognitive impose une vigilance particulière quant à l'intégration des illustrations. Afin de prévenir la surcharge, le choix a été fait d'écarter les tableaux trop complexes ou les illustrations excessivement chargées en texte, ces éléments demandant à l'apprenant un balayage visuel trop coûteux. En s'appuyant sur les travaux de Mayer (2020), l'association d'une image simple et d'un texte concis permet un double codage de l'information (visuel et verbal) dans la mémoire à long terme, préservant ainsi les registres sensoriels de la saturation. Cette clarté visuelle est primordiale, notamment dans l'utilisation des schémas. Un schéma bien conçu fonctionne comme une unité d'apprentissage au sein de la mémoire de travail. Il simplifie des concepts qui, présentés uniquement sous forme textuelle, induiraient une interactivité des éléments trop coûteuse, comme précédemment mentionné. Le dispositif pédagogique, en assurant la synchronisation des éléments et la cohérence entre l'image et le texte, adhère aux principes de l'apprentissage multimédia (Mayer, 2020). L'effort de l'apprenant est ainsi focalisé sur la construction des connaissances, plutôt que sur le déchiffrage d'illustrations superflues.

L'analyse de terrain a été restreinte à ces deux heuristiques. Bien que les heuristiques ergonomiques assurent la fluidité de l'interface, elles ne sont pas suffisantes pour évaluer les choix liés à l'efficacité, tant sur le plan cognitif que motivationnel, du contenu. C'est pourquoi cette évaluation va être complétée en intégrant l'apport des neurosciences.

4.3. La conception d'une formation accompagnée des neurosciences

Lors de la scénarisation des formations, les activités et la mise en page des éléments doivent être choisis avec pertinence afin d'obtenir une formation fluide et efficace qui maximise la rétention des informations chez l'apprenant. Certains de ces choix ont été conduits par les neurosciences.

Il faut rappeler que le dispositif de formation est prévu pour pour un public varié : musiciens, techniciens, danseurs, professeurs… La variabilité interindividuelle est importante, il est

complexe de s'appuyer sur des personas afin de construire la formation. Il convient donc de trouver des leviers qui peuvent s'adapter à ce public. La formation est asynchrone et permet à l'apprenant de gérer son temps de formation selon ses dispositions et disponibilités, des critères importants dans un milieu où de nombreux profils sont intermittents du spectacle ou avec des emplois du temps très peu flexibles. La formation est prévue sur un temps donné à titre indicatif, aucun temps précis n'est prévu pour terminer la formation : ce choix permet de s'adapter à la variabilité intra-individuel (Ribaupierre) en laissant l'apprenant gérer l'entièreté de la formation en fonction de sa "fragilité" ou non. La variabilité interindividuelle (Vidal) a pour conséquence des compétences différentes entre les différents apprenants. C'est pourquoi cette diversité a été palliée en choisissant d'intégrer des contenus complémentaires, nommés "pour aller plus loin". Un apprenant qui le souhaite peut décider d'utiliser cet encadré, qui n'est pas obligatoire ni essentiel à la compréhension et réalisation de la formation, afin de combler un manque de connaissances ou pousser plus loin son apprentissage.

Afin de soutenir ces parcours différenciés et faciliter l'appropriation des contenus, les choix didactiques de la scénarisation en font une phase essentielle. Comme indiqué précédemment, notre cerveau utilise le double codage de Paivio (Lieury et Galvez, 1986), Mayer (2020) renforce cette idée dans l'apprentissage multimédia en préconisant l'utilisation du double support avec des blocs qui contiennent une image et du texte : des illustrations sur mesure, contenant les informations nécessaires uniquement, sont réalisées en partenariat avec la graphiste. Par exemple, lors de l'intégration de la formation de la CSFI, l'exemple contenu dans le texte principal a été illustré afin de baisser la charge cognitive. (fig 22)

Figure 22 : *intégration d'un bloc image et texte permettant la diminution de la charge cognitive.*



Plusieurs blocs créés utilisent le double support : Les illustrations intègrent des annotations dans l'image (évitant la dissociation de l'attention), le bloc de mise en page en colonnes est composé de texte et d'image, les vidéos comprennent le son et l'image et parfois même des screencasts intégrés ou des animations pour appuyer le propos. Enfin, les images cliquables sont agrémentées de texte. Tous ces blocs sont articulés les uns avec les autres lors de la scénarisation et l'intégration des formations.
La charge cognitive se compose de trois parties : charge intrinsèque, extrinsèque ou germane. Afin de libérer la charge germane, essentielle à l'apprentissage, il est nécessaire que les deux autres charges soient le moins sollicitées puisque que la somme des trois charges correspond à la capacité de la mémoire de travail. (Paas et al., 2003).

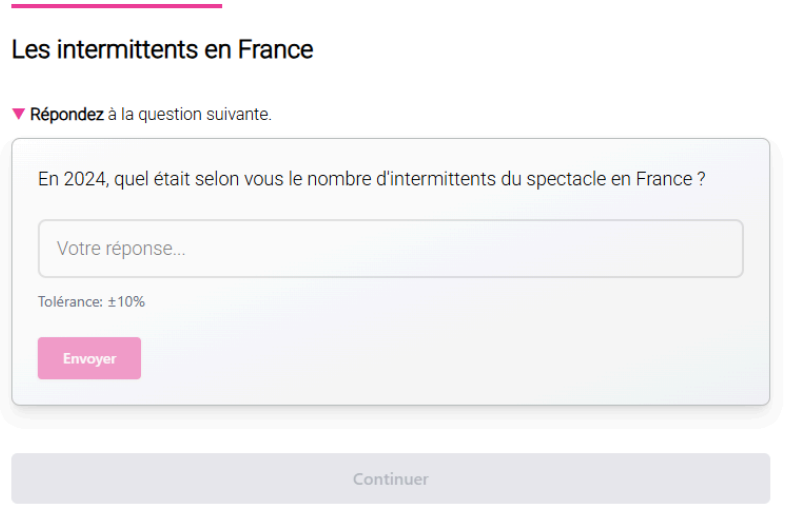
Afin de limiter la charge extrinsèque (Paas et al., 2003), les templates créés permettent à l'apprenant de reconnaître les interactions demandées. Ces templates, évoqués précédemment, permettent un déroulé de formation unifié, mais aussi de réutiliser les activités d'une leçon à l'autre. Par exemple pour la formation MuseScore, consistant à apprendre à graver des partitions numériquement, chaque chapitre contient la même structure de blocs. Lors première leçon, l'apprenant regarde et pratique en suivant une vidéo tutoriel, puis il peut retrouver les étapes clés des manipulations à réaliser et une écoute du morceau. Cette première leçon peut être répétée plusieurs fois en fonction du besoin du chapitre. Enfin, l'apprenant est dirigé vers la partie "à retenir" dans laquelle se trouvent un récapitulatif, un quiz formatif et enfin une mise en pratique qui contient une consigne de gravure à réaliser en autonomie et une correction commentée pour terminer. La structure de cette formation est en annexe 6: cet exemple de structure de chapitre est répétée tout au long de la formation.

Malgré une conception de plan avec l'expert métier, à la réception du contenu, il est parfois possible que l'on se rende compte que la redondance des informations dessert la formation. En effet, lors de la lecture de la formation sur le statut des intermittents du spectacle, il s'est avéré que la partie, consacrée aux formalités administratives pour le travail international, comprenait des redondances dans les chapitres deux et trois. Cette partie comprenait initialement trois chapitres : le premier chapitre réservé aux notions fondamentales de travail à l'étranger, le deuxième concernant les artistes français travaillant à l'étranger et le dernier concernant le travail des artistes étranger en France. Selon la théorie de Sweller par Tricot (1998), la présentation d'informations redondantes qui peuvent être comprises de manière isolée oblige l'apprenant à dépenser des ressources cognitives inutiles pour comparer et intégrer ces doublons. Cette analyse a conduit au choix de ne faire qu'un seul chapitre concernant les artistes français à l'étranger et les artistes étrangers en France afin de

simplifier le schéma mental et l'attention requise.
Lors de l'intégration de cette formation, un temps de recherche supplémentaire a été pris afin de trouver l'équilibre dans l'utilisation de la redondance qui semblait complexe à gérer. En effet, selon Kalyuga and al. (2003), selon le niveau d'expertise de l'apprenant, l'utilisation de la redondance peut être un frein alors qu'avec public novice il est important de leur fournir un guidage. Comme vu précédemment, la redondance pour un public sera efficace alors qu'elle est une source de charge mentale supplémentaire pour un expert sollicitant les schémas mentaux déjà construits. Dans ce dispositif, il n'est pas prévu à l'heure actuelle de mettre en place des formations différenciées selon un test diagnostique qui serait réalisé en amont par l'apprenant. Selon Kalyuga et al. (2003) il existe cependant des stratégies permettant de gérer l'hétérogénéité des apprenants : un estompement progressif du guidage en fournissant un niveau de détail élevé au démarrage puis progressivement diminué, proposer un contrôle aux apprenants sur le rythme de présentation et proposer une méthode en deux temps qui consiste à reprendre les notions abordées à la base en précision avant de passer au contenu plus complexe. Afin de pallier l'hétérogénéité des profils, des tooltips, boîtes apparaissant au survol de la souris, ont été intégrés pour donner des définitions, des informations complémentaires dont les novices pourraient avoir besoin mais que les experts peuvent ignorer. De plus, la formation n'étant pas limitée dans le temps, chacun peut la suivre à son propre rythme.

L'apprentissage survient lorsqu'il y a un décalage entre la prédiction et la réalité (Friston & Friston, 2013) : le signal d'erreur. C'est pourquoi des questions dont la réponse peut surprendre l'apprenant ont été intégrées (fig 23). Comme par exemple dans la formation sur le statut des intermittents où la question suivante apparaît et l'attention de l'apprenant est sollicitée (Lieury, 2020) :

Figure 23 : *question permettant de solliciter le signal d'erreur.*



La réponse aux besoins de signaux d'erreur par des feedbacks systématiques, permet à l'apprenant d'engager un processus actif de correction et de construction des connaissances. Chaque activité propose des feedbacks précis basés sur le modèle MISCA : mesurable, immédiat, spécifique, constructif, améliorable (Panadero et Lipnevich, 2021). Chaque chapitre comprend un quiz formatif avec, pour chaque question, un feedback unique reprenant les informations permettant de comprendre la réponse. Ces feedbacks sont rédigés par les experts, cependant il est parfois nécessaire de retravailler les contenus afin qu'ils répondent mieux aux besoins de l'apprenant.

L'engagement actif est un pilier de l'apprentissage aidant à la construction des connaissances via un traitement plus profond de l'information (Dehaene, 2018). Dans ce dispositif, l'utilisation d'études de cas contextualisés permettent à l'apprenant d'appliquer directement les connaissances à son métier. Dans la formation de la CSFI, afin de concrétiser toutes les démarches et formalités administratives lourdes, un cas d'étude a été construit autour d'une musicienne voyageant avec son instrument. L'apprenant prend connaissance du texte et répond aux questions. Cette formation initialement intégrée sur Rise ne permettait pas d'optimiser l'activité. Il a fallu proposer dans un premier temps l'intégralité du texte puis poser les questions. Une meilleure intégration avec l'outil auteur ScormStack pourrait être mise en place, en découpant l'information au fur et à mesure afin de faire progresser l'apprenant par de plus petites unités (Mayer et Moreno). (fig 24)

Figure 24 : *étude de cas - voyager avec un instrument - les démarches pas à pas.*



Les illustrations ont été choisies dans un cadre physiologique de codage mémoriel mais le choix des illustrations demande un autre pan de réflexion : celui de l'émotionnel. En effet, l'engagement actif de l'apprenant passe par cette présence d'illustrations (Cherry, 1953). Les illustrations réalisées par la graphiste sont colorées : la palette déterminée pour ces illustrations comprend des couleurs très soutenues. Les demandes d'illustrations répondent au contexte de formation : elles sont directement liées au sujet traité afin qu'elles puissent être bénéfiques à l'apprentissage (Mayer et Zhao, 2025). Dans l'ingénierie mise en place durant la mission, les recherches concernant le design émotionnel sont arrivées tardivement. Ce point est donc largement développé mais permet d'avoir un regard différent sur les dernières demandes faites durant la mission. Lors de l'intégration des formations, des illustrations simples ont été réalisées à l'aide de Canva afin de représenter les informations importantes à souligner. (fig 25 et 26)

Figure 25 : *réalisation des illustrations comme base de travail pour la graphiste, permettant à la fois de visualiser l'impact pédagogique et la pertinence du choix.*

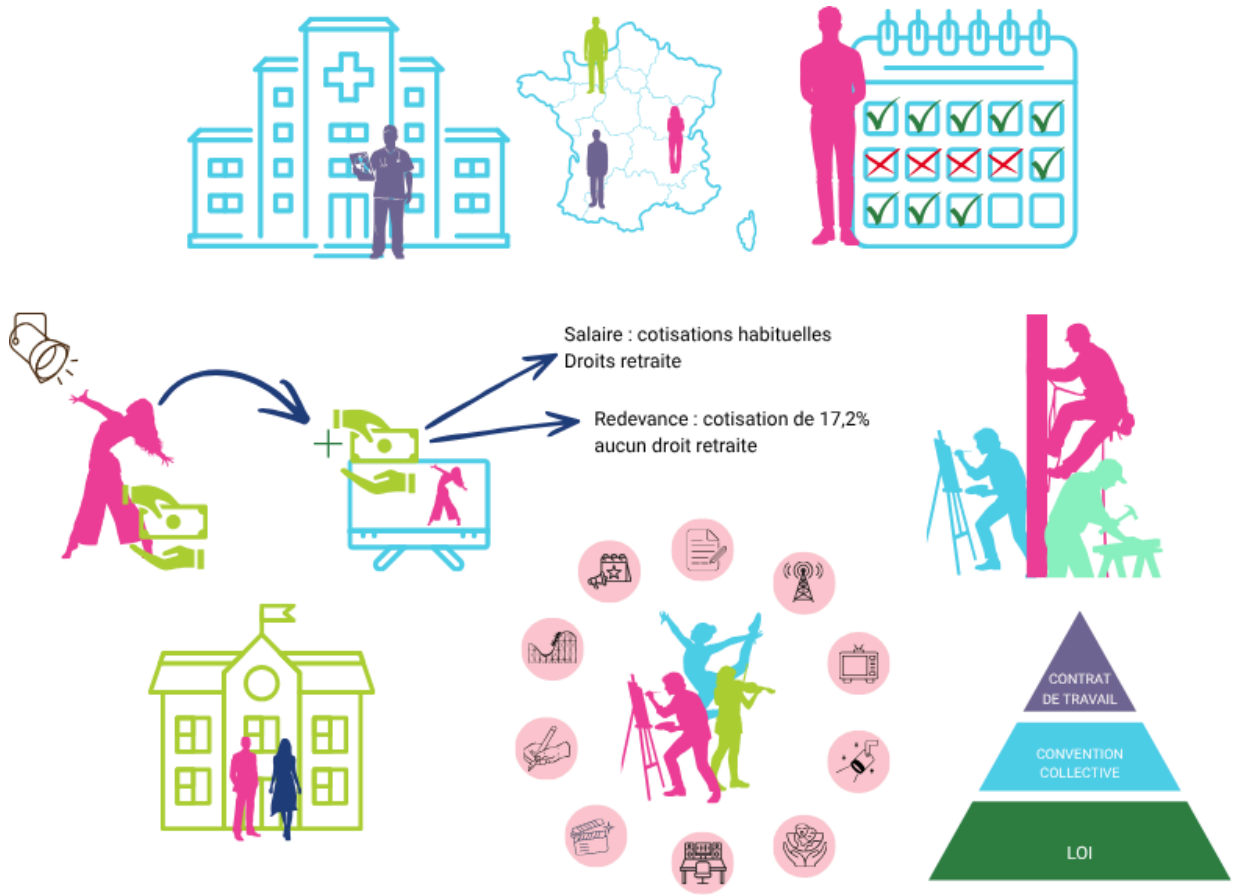
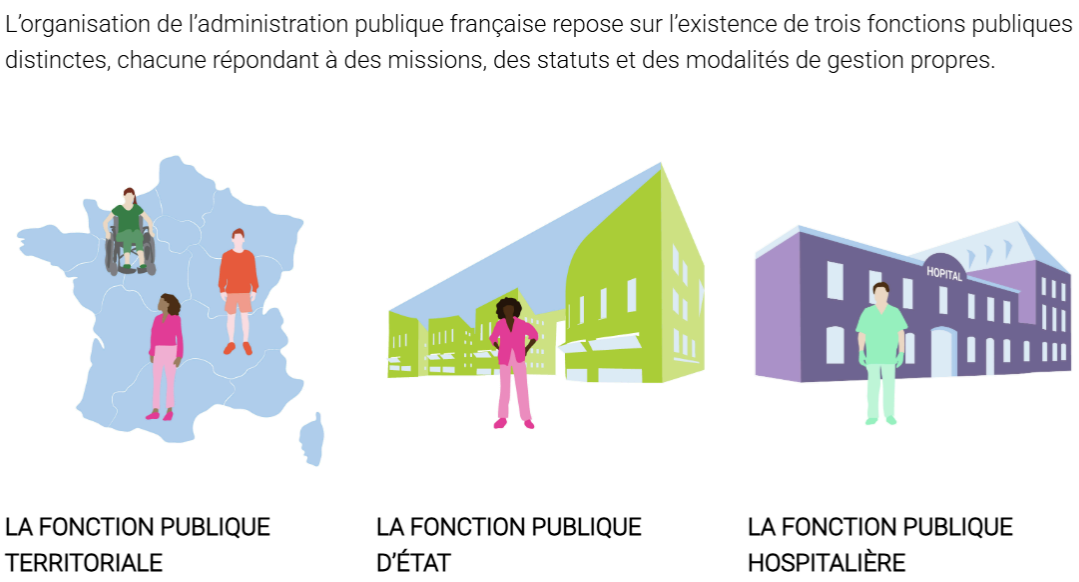


Figure 26 : *De l'intention pédagogique à la réalisation graphique : adaptation d'un schéma source par la graphiste.*



Cet engagement actif ne peut se maintenir dans la durée sans l'activation du circuit de la récompense : c'est ici qu'intervient la dopamine, neurotransmetteur clé qui transforme l'effort cognitif en une expérience gratifiante et motivante pour l'apprenant (Naudé et al., 2024 et Greenstreet et al., 2024). Afin d'activer le circuit de dopamine, les quiz formatifs, les quiz évaluatifs et le certificat de fin de formation ont été mis en place. Les quiz formatifs sont conçus pour mettre l'apprenant en situation de réussite : les questions posées reprennent les notions vues dans le chapitre. L'évaluation sommative certifiante constitue une récompense de validation. Les quiz ont aussi une fonction de récupération de la mémoire permettant la consolidation des savoirs (Brown, 2014).

D'autres activités de jeu (annexe 7) permettent l'activation du circuit de dopamine. En intégrant ces mécaniques, les blocs sollicitent le signal de prédiction et le signal d'erreur. Ce processus neurobiologique, soutenu par la dopamine, permet non seulement de maintenir un niveau d'éveil élevé, mais aussi de marquer émotionnellement l'information pour en faciliter l'ancrage mémoriel ainsi que de favoriser un effort à l'apprenant contribuant à un meilleur apprentissage. (Brown, 2014).

Les neurosciences ont servi de base théorique dans le choix des activités et le contenu. Un test utilisateur, détaillé dans la partie suivante, a été mis en place afin d'évaluer le travail de recherche dans le cadre théorique et les applications dans l'intégration des formations du dispositif.

5. Evaluation du dispositif

5.1. Participants

Nielsen (1993) préconise de prendre 5 utilisateurs afin de faire remonter 85% des problèmes. Ce résultat vient d'un calcul suivant le processus de Poisson mis au point avec Landauer en 1993. Cependant Spool & Schroeder (2001) contestent le nombre d'utilisateurs : selon la complexité du site web (comme le e-commerce par exemple) le nombre de 5 utilisateurs n'est plus suffisant. Selon Macefield (2009), pour obtenir des résultats statistiquement significatifs, il est préconisé de prendre entre 10 et 12 personnes : la mesure de la charge cognitive objective nécessite plus d'utilisateurs que préconisé par Nielsen. Dans cette étude, un dispositif de formation a été testé : la complexité est mesurée puisque les formations suivent un processus linéaire. Mais les formations peuvent s'avérer complexes soit par la charge intrinsèque (le contenu) soit par la charge extrinsèque (UX : expérience utilisateur). L'échantillon de testeurs sélectionné est compris entre 10 et 12. L'évaluation combine des mesures quantitatives sur un petit échantillon et une analyse qualitative des profils.

Les dix profils choisis viennent de milieux différents et ont des parcours différents mais ils sont tous issus du milieu professionnel de la musique : musiciens, professeurs de musique, compositeur, chanteur avec une formation initiale académique ou non. Ce choix permet d'avoir un public similaire (musiciens professionnels) tout en gardant l'inter-individualité essentielle afin de pouvoir analyser les résultats. La liste des participants est disponible en annexe 8.

Afin de pouvoir observer le comportement de l'apprenant, les tests seront réalisés de manière synchrone soit en présentiel, soit en distanciel selon les possibilités. Les testeurs prennent rendez-vous à leur convenance : selon l'heure de rendez-vous, d'un individu à l'autre, la charge cognitive ne sera pas la même au début et à la fin du test. La séance débute par un temps de détente et de discussion afin de libérer au mieux la charge cognitive qui pourrait être liée à une activité antérieure de la journée ou un état émotionnel de l'apprenant (Park and al., 2014). Afin que tous les participants soient bien dans les mêmes conditions à chaque test, le protocole comprend un planning détaillé, une préparation de l'accueil et des consignes données aux testeurs à respecter rigoureusement. Ces documents sont disponibles en annexe 9.
Le matériel est mis à disposition de l'apprenant. Le support principal est un ordinateur avec un accès à la formation sur ScormCloud, une plateforme permettant les tests des fichiers

Scorm et xAPI. Pour les testeurs en distanciel, un mail sera envoyé avec les liens d'invitation vers les formations tests.

5.2. Protocole

La conception du dispositif de formation du conservatoire augmenté est très récente. Le protocole proposé dans cette partie est conçu à partir d'un test utilisateur en trois phases.
Le protocole mobilise plusieurs cadres théoriques qui ont été détaillés dans la partie 3 : la charge cognitive par Paas et al (2003), la mesure directe de la charge cognitive (Brünken et al., 2003), la mesure subjective indirecte de la charge cognitive : échelle de Paas, les principes de réduction cognitive de l'apprentissage multimédia de Mayer, le design émotionnel de Mayer et Zhao (2025).

Dans un premier temps, la charge cognitive objective sera mesurée (Brünken et al. 2003) à partir d'un fichier créé avec l'outil storyline qui permettra de connaître le temps de réaction de l'apprenant face à la double tâche. Comme vu précédemment, cette méthode de calcul doit répondre à plusieurs conditions : le stimulus de la double tâche doit être le même que celui des informations principales à traiter. Dans cette étude, les blocs demandent un traitement des informations visuelles, il faudra donc choisir un stimulus visuel. En effet, le temps de réaction à la tâche indiquera la capacité disponible pour la réalisation de la tâche secondaire. Plus la réaction sera rapide et plus cela indique que la tâche primaire ne surcharge pas la capacité. Le changement de couleur a été choisi, comme dans l'exemple donné dans l'article de Brünken et al. (2003). Ce changement sera réalisé sur chaque activité puisque l'intégralité du test se fait sur des blocs visuels. Lors du lancement de l'activité, un temps de référence sera pris afin de connaître le temps de réaction de l'apprenant sur la tâche unique (Brünken et al., 2003).
Ensuite, la charge cognitive subjective sera mesurée (échelle de Paas). Les apprenants auront accès à un chapitre concernant le statut des artistes du spectacle. A la fin de chaque leçon, les questions situées en annexe 11 leur seront posées. Le choix des quatres questions permet d'avoir une plus grande fiabilité du ressenti des apprenants. En effet, ces derniers devraient donner une valeur proche aux quatre questions d'une même leçon. La première question choisie mesure l'effort mental, la charge cognitive globale perçue, la deuxième question reprend la mémorisation donc la construction des schémas ce qui correspond à la charge germane, la troisième question concerne la capacité de traiter toutes les informations et se réfère donc à la charge intrinsèque. Enfin la dernière question couvre l'attention que l'on arrive à poser sur les informations pertinentes, donc la charge extrinsèque.

La troisième et dernière partie du test reprend l'AttrakDiff développé par Hassenzahl, Burmester, & Koller en 2003 (Version Française du Questionnaire AttrakDiff, 2021). Ce questionnaire comporte trois types d'évaluation des systèmes interactifs : l'évaluation unique, la comparaison avant et après et la comparaison entre différents produits. Le questionnaire se présente sous forme de 28 items en paires de mots contrastés en 7 niveaux. Le test est protocolaire et afin de calculer les résultats, le test est divisé en quatre échelles différentes dont l'échelle de qualité pragmatique qui permet de connaître comment l'utilisateur perçoit l'atteinte de son but, l'échelle de qualité hédonique - stimulation - qui permet de savoir si le produit est stimulant, l'échelle de qualité hédonique - identité - qui indique la fonction sociale du produit et enfin l'échelle d'attractivité globale perçue sur les qualités pragmatiques et hédoniques. Ces trois données sont représentées sous forme de trois graphiques différents : le diagramme ou histogramme des valeurs moyennes permettant de visualiser quelle échelle ne remplit pas l'objectif, le diagramme des paires de mots permettant de cibler précisément quels items sont perçus comme négatifs ou positifs et enfin le portfolio des résultats qui permet de placer l'extrait de formation testé dans une zone : trop orienté vers soi, orienté vers soi, désiré, neutre, orienté tâche, superflu ou trop orienté tâche.

Le test de charge cognitive objectif permet de comprendre si le dispositif est conçu de manière optimale pour la variabilité des publics susceptibles de suivre les formations proposées par le conservatoire augmenté. La deuxième partie du test, la charge cognitive subjective indiquera la charge perçue par l'apprenant et si les formations proposées sont adaptées à tous les profils. Enfin la troisième partie du test permettra de situer la formation dans un cadre hédonique, cadre important dans l'apprentissage afin de solliciter l'engagement actif de l'apprenant (Dehaene, 2018).

5.3. Matériel

Afin d'effectuer la première partie du test, une suite de diapositives ont été réalisées dans storyline afin de mesurer pour chacune le temps de réponse de la double tâche. Ces mesures sont réalisées sur une formation inventée afin qu'aucun apprenant n'ait déjà des connaissances à ce sujet. Car la charge cognitive pourrait varier si l'apprenant maîtrisait déjà le sujet, il aurait beaucoup moins d'effort cognitif à fournir.
Pour rester dans le contexte musical, les apprenants seront confrontés à une formation sur la pratique musicale d'une civilisation fictive reprenant des termes musicaux professionnels mais un tout autre système de pratique : elle nécessite donc des connaissances de base de musique maîtrisées par tous les musiciens professionnels. Cela permettra de faire appel à leur mémoire sémantique et activer la charge cognitive intrinsèque.

Les limites de la mesure imposent de faire une diapositive par bloc d'activité. En effet, il faut déterminer le lancement de la double tâche ainsi que sa fin pour chaque activité. Le temps passé par activité étant variable, il est indispensable de séparer ces diapositives pour que les apprenants puissent avancer à leur rythme. Pour ce faire, la double tâche apparaît après un certain temps à partir du démarrage de la diapositive. Le changement de diapositive permet de savoir quand l'apprenant est arrivé à l'activité dont la charge cognitive sera mesurée.

Les mesures seront prises à l'aide de variables créées dans storyline contrôlées par du code en JavaScript (js) :

`var player = GetPlayer();`	Créer un pont entre storyline et js. La variable est nommée player par convention (c'est la porte d'entrée) et permet d'accéder aux données de l'utilisateur
`var start = new Date().getTime();`	On relève la date convertie en millisecondes par rapport à la date de référence 1er janvier 1970 cette valeur est stockée dans une variable nommée start
`player.SetVar("HeureApparitionA", start);`	Le temps d'apparition du pop up est stocké dans les données de l'utilisateur via les fonctions de Storyline sous le nom HeureApparitionA

`var fin = new Date().getTime();` `player.SetVar("HeureFermetureA", fin);`	À l'action sur le pop up, on récupère le temps de fermeture de la même manière que précédemment, que l'on stocke dans storyline sous le nom HeureFermetureA
`var debut = player.GetVar("HeureApparitionA");`	on récupère la valeur du temps d'apparition à la fin de l'action
`var resultat = (fin - debut) / 1000;` `player.SetVar("TempsReactionA", resultat);`	Une variable resultat récupère la différence entre le temps d'ouverture et de fermeture du calque, divisé par 1000 afin de transposer le temps en secondes en gardant la précision à la ms. Cette variable est enregistrée dans Storyline sous le nom TempsReactionA

Une commande javascript se déclenchant sur la dernière diapositive envoie les variables au LMS. Elles seront disponibles dans le log.

Une première diapositive sert d'accueil et permet de prendre le temps de réaction de référence. Suite à celle-ci, 6 diapositives différentes représentent 6 activités. Ces diapositives conservent la même mise en page que celle des formations du conservatoire

augmenté afin que cette formation fictive soit présentée de la même manière pour ne pas fausser la charge extrinsèque. Lors des activités, une lettre change de couleur afin de déclencher la double tâche. Une des diapositives ne contient pas ce changement : ce leurre permet de renforcer le changement d'habitude. Le délai de changement de la lettre dépendra de la diapositive et ne sera pas régulier afin que l'apprenant ne soit pas habitué à l'apparition d'un événement au même moment.
Les six blocs créés contiennent les activités suivantes :

- Un bloc de présentation contenant une vidéo facecam enregistrée spécialement pour les tests afin de présenter la formation,
  Temps défini pour démarrer la double tâche : 23s
- Un bloc de texte avec image. Le graphisme utilisé reprend les couleurs et la 2D,
  Temps défini pour démarrer la double tâche : 10s
- Un bloc de trois colonnes sans images,
  Temps défini pour démarrer la double tâche : 36s
- Un bloc image centrale et texte en dessous. C'est ce bloc qui contient le leurre, la charge cognitive n'est pas mesurée à cet endroit,
- Un bloc image cliquable interactive,
  Temps défini pour démarrer la double tâche : 45s
- Un bloc de trois colonnes avec images.
  Temps défini pour démarrer la double tâche : 8 s

Passons maintenant à la deuxième partie du test : mesure de la charge cognitive subjective à partir de l'échelle de Paas. Cette échelle est une version modifiée de l'échelle Bratfisch, Borg et Dornic servant à mesurer la difficulté d'une tâche (Paas, 1993). Les apprenants reportent sur une échelle de 1 à 9 l'effort mental qu'ils ont dû accomplir afin de réaliser la tâche où 1 est un effort mental très faible et 9 un effort mental très fort. L'apprenant découvre l'échelle avant de commencer à suivre la formation, il peut prendre le temps de lire les questions qui seront posées après chaque unité d'apprentissage dans la leçon : les valeurs données par l'apprenant seront reportées dans un tableau en annexe 11. Les questions posées à l'apprenant seront les suivantes :

Question 1 : Combien estimez-vous l'effort mental fourni pour comprendre ce phénomène ? (charge globale)

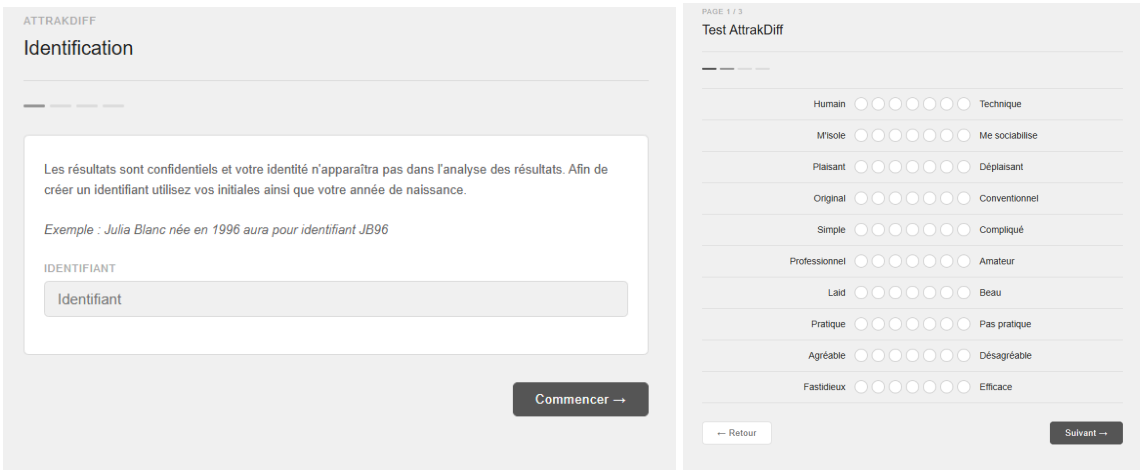
Question 2 : Quelle a été la difficulté pour vous de mémoriser ces informations ? (charge germane)

Question 3 : Quelle était la difficulté de comprendre tous les éléments simultanément ? (charge intrinsèque)

Question 4 :Quelle était la difficulté de concentrer son attention sur les informations pertinentes ? (charge extrinsèque)

Pour la troisième et dernière partie du test, un questionnaire en ligne reprenant le protocole du test AttrakDiff a été mis en place. Une page web comprenant du HTML, du CSS et du javascript a été hébergée sur une plateforme gratuite (fig 27), . Ce site test a été créé avec l'aide de l'IA (Claude) : le principe est simple, les testeurs répondent en choisissant le niveau et les résultats sont envoyés dans un tableur stocké sur un drive. Les outils de questionnaire en ligne comme Google Form n'ont pas été retenus puisque l'item "échelle" possède des numéros ce qui aurait pu provoquer un biais pour le testeur dans une évaluation sémantique.

***Figure 27** : Interface d'accueil et test en trois parties différentes*



Ce test permet une analyse sous trois angles différents : une évaluation unique et temporaire, une comparaison entre deux temps différents permettant de mesurer l'évolution ou une comparaison entre deux produits. Cette étude utilisera une évaluation unique afin de donner des indications sur le dispositif mis en place. L'analyse des résultats via ce test sera détaillée dans la partie suivante.

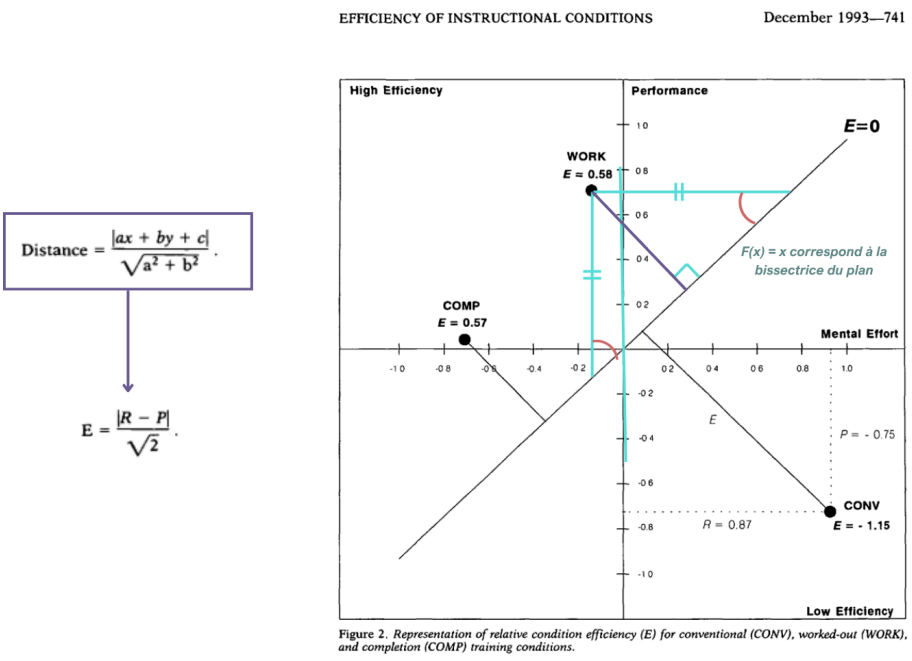
5.4. Analyse des données

L'analyse de données s'articulera en deux axes : tout d'abord l'analyse de chaque test effectué séparément puis un croisement des résultats obtenus entre les tests afin de faire émerger une réponse à la problématique.

La double tâche est une mesure comportementale objective (Brünken et al., 2003) du temps de réaction de l'apprenant lors d'une formation. Pour calculer ce temps de réaction, il faut commencer par le comparer au temps de référence correspondant au testeur. En effet le coût de la double tâche correspond à la différence entre le temps de la double tâche et le temps de référence. Une fois les coûts de la double tâche établis, la moyenne pour chaque activité sera calculée pour révéler les plus coûteuses cognitivement. L'écart-type permettra de mesurer la dispersion des valeurs : une dispersion importante amènera à analyser les cas particuliers de manière plus approfondie.

L'échelle de Paas permet de mesurer le ressenti subjectif de l'apprenant sur sa charge cognitive. Il est conçu sur une échelle de Likert allant de 1 à 9.
Le calcul d'efficience de formation est détaillé par Paas et Van Merriënboer (1993). Cette méthode prend en compte la mesure de charge cognitive et la performance de l'apprenant. Dans un premier temps les scores doivent être transformés en "z score" afin d'obtenir des données comparables et standardisées : le z score est obtenu en soustrayant à la valeur brute, la moyenne puis en divisant ce résultat par l'écart-type. Cette méthode permettra d'obtenir un z score charge mentale perçue et un z score de performance. Le calcul suivant sera ensuite appliqué : Efficience = valeur absolue de (z Mental - z Performance) divisé par la racine carrée de 2. Ce calcul, déterminé par Paas et Merriënboer (1993), est défini mathématiquement comme la distance perpendiculaire qui sépare le point de donnée de l'apprenant avec la droite d'efficience nulle soit $E = 0$. Le signe de l'efficience sera déterminé par la différence entre z Mental et z Performance. (fig 28)

Figure 28 : *graphique de Paas et Merriënboer (1993) avec des annotations colorées expliquant la démarche du calcul*



Ce schéma, permet d'observer que si $E > 0$, l'apprentissage est peu coûteux et efficient, alors que $E < 0$ indique une inefficience et un risque de charge cognitive. $E = 0$ correspond au point d'équilibre.
Ensuite, les scores moyens par leçon seront analysés afin de définir celles qui sont les plus chargées cognitivement. La variabilité inter-individuelle sera également observée en calculant les écarts-types par leçon. Ensuite ces données seront croisées avec la mesure de la double tâche afin de savoir si la charge perçue et la charge subjective convergent.

Enfin le test de l'AttrakDiff s'analyse selon une procédure précise déterminée par la méthode. Les 28 items du questionnaire se regroupent en échelle de qualité différente : pragmatique (utilisabilité), hédonique-stimulation (interaction), hédonique-identité (fonction sociale) et échelle d'attractivité globale (basé sur pragmatique et hédonique). Chaque item est scoré et ces items sont regroupés dans leur échelle de qualité. Une vigilance s'impose lors du calcul puisque certains items sont à inverser lors du scoring.
Les résultats se présentent sous forme de graphiques. Tout d'abord un diagramme des valeurs moyennes. La zone entre 0 et 1 est considérée neutre : la formation remplit son objectif mais des améliorations sont possibles. Les valeurs au-delà de cette zone indiquent un résultat positif ou négatif à considérer comme des points de réussite ou des points d'amélioration. Le diagramme des paires de mots est représenté par les valeurs moyennes. Il permet de distinguer rapidement les aspects positifs et négatifs perçus par les apprenants. Cela permettra d'obtenir le portfolio des résultats : ce système de représentation croise les scores de qualité hédonique et pragmatique pour situer le produit dans une zone définissant son "orientation" d'usage ou sa personnalité (désiré, trop orienté vers le soin, superflu…). L'ajout d'un rectangle de confiance autour de cette moyenne permet de visualiser l'homogénéité des avis : plus il est réduit, plus la catégorisation du système est précise et fiable.

6. Résultats

6.1. La mesure de la double tâche

Avant d'analyser les résultats, quelques informations de réalisation de ce test sont à prendre en compte. Lors du premier test avec TF05, la touche “entrée” du clavier n'a pas pris en compte le temps de réaction, cette donnée faussée a donc été retirée du tableau. Pour le second testeur IL05, le temps de base remonté paraît très élevé comparé à ses temps de réaction pendant la formation. Ce cas sera pris à part pour analyse. Le testeur PD67 a un temps très élevé par rapport aux autres temps : n'ayant constaté aucun problème technique

associé à ce temps, il sera conservé dans le tableau mais il sera intéressant d'analyser si une information du profil peut expliquer ce temps très différent. Concernant l'utilisateur FLM05, le test n'a pas pu être effectué lors du rendez-vous car la testeuse n'avait pas à disposition de clavier, elle l'a donc effectué dès qu'il lui a été possible d'avoir le matériel à disposition étant un profil en distanciel uniquement : le temps de référence égal à zéro témoigne d'un souci technique lors du test, la testeuse n'a pas dû voir la consigne de prise de temps de référence. Les résultats analysés s'appuient sur ces 10 personnes que vous pouvez retrouver en annexe 10.

Commençons par calculer le coût cognitif en soustrayant le temps de réalisation de la double tâche avec le temps de référence.

Testeur	Bloc Vidéo	Bloc texte avec une image	Bloc trois colonnes de texte	Bloc image interactive	bloc trois colonnes avec images
TF05	x	-0.340	3.807	2.525	9.491
IL05	-2.701	5.850	-2.417	1.284	3.650
CL78	9.527	-0.744	-1.627	-0.711	-0.545
SL81	3.687	20.323	11.322	16.939	19.754
FLM05	2.179	1.587	0.959	0.769	1.052
MC92	0.372	1.123	0.390	0.204	3.989
PD67	0.417	17.817	0.850	0.295	-0.232
TB87	18.362	2.932	0.253	0.242	1.842
BD88	0.023	0.008	0.034	2.729	0.034
CI97	0.962	2.689	1.431	2.830	2.314

Ces données sont à analyser avec précaution. Au vu des résultats, déterminer l'activité la moins coûteuse semble complexe. En effet certains temps sont négatifs : une charge cognitive ne peut être négative, la valeur sera donc rapportée à 0. Cependant, il convient d'abord de s'intéresser à la raison de ces chiffres négatifs.

Le practice effect est défini par Duff and al. (2012) comme une amélioration des performances due à la pratique. Il est possible dans le cas présent que les apprenants ayant eu des résultats négatifs se soient améliorés dans la compréhension de la consigne. Le temps de référence de IL05 semble incorrect, le testeur avait peut être mal compris la consigne ou un problème technique a empêché la bonne prise de mesure de base. Ce testeur sera donc retiré du calcul des moyennes et de l'écart-type. FLM05 sera également retiré puisque le temps de référence n'est pas disponible (égal à zéro), il est donc impossible

de mesurer le coût cognitif, les valeurs représentent uniquement le temps de réalisation de la double tâche.

Testeur	Bloc Vidéo	Bloc texte avec une image	Bloc trois colonnes de texte	Bloc image interactive	bloc trois colonnes avec images
TF05	—	0	3,807	2,525	9,491
CL78	9,527	0	0	0	0
SL81	3,687	20,323	11,322	16,939	19,754
MC92	0,372	1,123	0,39	0,204	3,989
PD67	0,417	17,817	0,85	0,295	0
TB87	18,362	2,932	0,253	0,242	1,842
BD88	0,023	0,008	0,034	2,729	0,034
CI97	0,962	2,689	1,431	2,83	2,314
moyenne	**4,764**	**5,612**	**2,261**	**3,221**	**4,678**
écart-type	**6,878**	**8,415**	**3,869**	**5,681**	**6,865**

D’une manière générale, il semblerait qu’aucune des activités proposées n’a, en moyenne, un gros coût cognitif. Cependant l’écart type témoigne d’une grande dispersion. Cette dispersion pourrait-elle être due à un public à la variabilité inter-individuelle forte?
Le cas particulier le plus significatif est SL81, ses temps de réactions sont conséquents pour chaque activité. SL81 a une très grande expertise et de nombreuses compétences : pour ce cas, il sera intéressant de comparer sa charge cognitive subjective, dans une partie ultérieure. Le cas de CL78 est aussi particulier puisque ses temps de réaction sont presque tous inférieurs au temps de référence. CL78 a fait part de son aisance avec le multimédia et que la navigation au sein de la formation était très fluide, il semblerait donc que CL78 a diminué très vite la charge extrinsèque en comprenant rapidement la navigation de la formation. Enfin, deux cas ont un coût cognitif très différent des autres sur une seule activité : PD67 et TB87. Il est difficile de pouvoir interpréter ces résultats. Est-ce l'activité en elle-même qui a sollicité ce coût ou un problème technique? l’importance d’écart avec les mesures ne permettent pas de répondre à cette question.

Testeur	Bloc Vidéo	Bloc texte avec une image	Bloc trois colonnes de texte	Bloc image interactive	bloc trois colonnes avec images
TF05	—	0	3,807	2,525	9,491
CL78					
SL81	3,687	20,323	11,322	16,939	19,754
MC92	0,372	1,123	0,39	0,204	3,989
PD67	0,417		0,85	0,295	0
TB87		2,932	0,253	0,242	1,842
BD88	0,023	0,008	0,034	2,729	0,034
CI97	0,962	2,689	1,431	2,83	2,314
moyenne	**1,092**	**4,512**	**2,584**	**3,681**	**5,346**
écart-type	**1,489**	**7,848**	**4,061**	**5,974**	**7,128**

Les résultats ont été triés en sortant les données qui étaient inexplicablement ou probablement inexploitables afin de calculer de nouveau les moyennes et écart-types. Même après avoir écarté ces valeurs extrêmes, les écarts-types restent élevés. Cette persistance de la dispersion confirme que la charge cognitive ne dépend pas uniquement de la difficulté de l'activité (vidéo, texte ou image), mais surtout de l'inter-individualité cognitive de chaque apprenant. Il serait intéressant pour compléter ces résultats d'effectuer le test sur un échantillonnage important afin d'obtenir des moyennes plus significatives.

Cependant, ces résultats montrent que les blocs conçus pour les formations n'ont pas un coût cognitif élevé. En effet les moyennes restent relativement basses, la plus élevée étant l'utilisation des trois colonnes avec images suivi du texte avec image. Ces dernières ont un impact plus coûteux sur les apprenants. Cela est peut-être lié à la densité d'informations sur un même bloc, en effet beaucoup de texte est présent sur ces blocs. Pour répondre à cette hypothèse, il faudrait entreprendre de nouveaux tests comparatifs sur le coût cognitif d'un contenu identique proposé sous différentes formes de blocs.

6.2. L'échelle de Paas et l'efficience

Le calcul de l'efficience de la formation suit la méthodologie de Paas et Merriënboer (1993). La première étape consiste à déterminer des z scores afin de normaliser les valeurs. Ci-dessous, les z scores des résultats :

ID	TF05	IL07	CL78	SL81	FLM05	MC92	PD67	TB87	BD88	CI97
Résultats	**90%**	**90%**	**70%**	**70%**	**80%**	**60%**	**100%**	**90%**	**100%**	**100%**
z perf	0,36	0,36	-1,07	-1,07	-0,36	-1,79	1,07	0,36	1,07	1,07

Ces résultats ont été calculés en soustrayant le résultat de l'apprenant à la moyenne du résultat (85%) divisé par l'écart-type (0,14). Le tableau des calculs se trouve en annexe 12 et a été réalisé à partir d'une feuille de calcul. De la même manière, il est possible de calculer des z scores par leçon.

Il faut noter que ces z scores par leçons ne sont calculées que dans l'objectif d'avoir le z score de la formation. En effet, il aurait fallu prévoir un test en fin de chaque leçon afin de déterminer l'efficience de chacune d'entre elles.

Dans une réflexion de projection, afin d'améliorer les résultats, il serait intéressant de prévoir ces tests en corrélation avec la charge subjective et objective sur des blocs de formation afin de mesurer plus précisément l'efficience de chaque bloc.

ID	TF05	IL07	CL78	SL81	FLM05	MC92	PD67	TB87	BD88	CI97
ZL1	-0,42	0,38	-1,03	0,79	1,19	-1,03	0,38	-0,63	-1,23	1,59
ZL2	-1,43	0,46	-0,17	2,19	0,61	-0,96	-0,02	-0,33	-0,64	0,3
ZL3	0,09	-0,65	2,13	0,83	-0,09	0,46	-0,65	-0,09	-1,57	-0,46
ZL4	-0,31	0,35	-0,09	2,32	0,35	-0,09	0,13	-0,53	-1,62	-0,53
ZL5	-0,23	-0,89	-0,89	1,41	0,1	-1,22	0,76	-0,56	-0,23	1,74
ZL6	-0,85	0,47	0,47	2,22	0,18	0,61	-0,7	-0,56	-0,99	-0,85
z mental	**-0,63**	**0,02**	**0,07**	**1,63**	**0,39**	**-0,37**	**-0,02**	**-0,45**	**-1,05**	**0,3**

Pour rappel, le calcul de l'efficience (non signée) est déterminé par la valeur absolue du z Mental moins le z Performance divisé par la racine carrée de 2 : $|E| = \frac{|R-P|}{\sqrt{2}}$ Pour cela, les moyennes des efficiences par leçon ont été calculées et se trouvent dans le tableau ci-dessus. Ces valeurs permettent ensuite de calculer l'efficience de formation par apprenant. Les valeurs sont reportées dans le tableau suivant. La feuille de calcul se trouve en annexe 13.

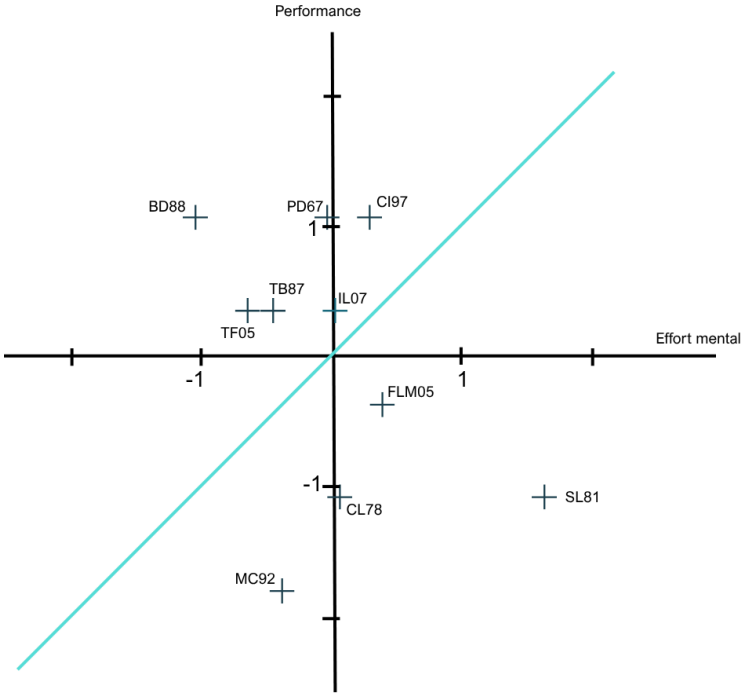
Selon Paas et Merriënboer (1993), si $R - P > 0$ l'efficience est négative, si $R - P < 0$, l'efficience est positive. La valeurs des efficiences peut être obtenue en exécutant le calcul

suivant directement, sans passer le calcul intermédiaire de la distance mathématique : $E = \frac{-1\times(R-P)}{\sqrt{2}}$

ID	TF05	IL07	CL78	SL81	FLM05	MC92	PD67	TB87	BD88	CI97
Efficience	**0,7**	**0,24**	**-0,81**	**-1,91**	**-0,53**	**-1**	**0,77**	**0,57**	**1,5**	**0,55**

Afin de visualiser l'efficience ou inefficience de la formation, les valeurs ont été rapportées sur un graphique. Le tracé $E = 0$ permet de représenter la base d'efficience de formation. Selon ses coordonnées (R, P), un point situé au-dessus du tracé témoigne d'une efficience, à l'inverse un point situé en dessous témoigne d'une inefficience. (fig 29)

Figure 29 : *Graphique représentant l'efficience de formation selon les apprenants qui ont effectué les tests.*



Les données indiquent que pour 60% des apprenants la formation est efficiente et que pour 40% des apprenants, elle ne l'est pas. Ces résultats ne permettent pas de tirer des conclusions marquées. Cependant les points sont très dispersés et témoignent de disparité dans l'efficience des formations. Cela peut être dû à l'inter-individualité mais aussi à l'état des apprenants au moment du test. En effet, selon Ribaupierre, il est possible que l'état d'un des apprenants ait joué sur sa charge cognitive et donc sa capacité à réaliser la formation.

Ce test permet de constater que, pour un même score de réussite, aucun des apprenants n'a vécu la formation de la même façon. En effet CL78 et SL81 ont obtenu la même performance mais SL81 est en surcharge cognitive, indiquée par un z Mental plus élevé. Concernant TB87 et TF05, deux profils très différents par l'expérience professionnelle et l'âge, présentent

un vécu de formation similaire, avec une charge mentale moindre pour TF05. BD88 a été très performant et la formation a été très efficiente : ce résultat est à tempérer car BD88 est un artiste-auteur et connaissait déjà beaucoup d'éléments de la formation, ce qui semble indiquer que la charge cognitive diminue lorsque la personne est experte. Cependant aucun élément de la formation n'est vécu comme une redondance d'informations (Tricot, 1998) capable de mettre l'expert en situation de charge cognitive très forte : en effet BD88 pourtant diagnostiqué TDAH, a suivi la formation avec une perception de charge mentale très faible.

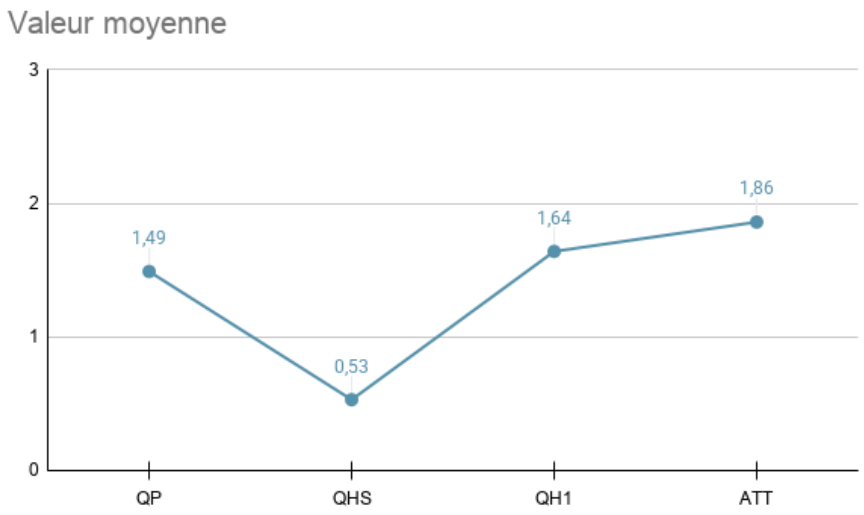
Le calcul d'efficience de chaque leçon n'a pas été interprété. En effet, il aurait fallu un résultat de performance à chaque fin de leçon afin de calculer l'efficience de la leçon en question. En prenant la performance réalisée sur tout le chapitre, les résultats ne seraient pas exploitables. Il est possible qu'un apprenant réussisse à 80% le quiz en ayant eu des difficultés majeures sur une seule des leçons.

6.3. AttrakDiff

L'analyse du test AttrakDiff suit un protocole précis. Il faut d'abord calculer les scores obtenus par chaque apprenant, visibles dans le tableau se trouvant en annexe 14. Les items comportant des astérisques ont été inversés, comme préconisé dans la méthode, afin d'éviter que l'apprenant soit face à une grille regroupant tous les termes négatifs d'un côté et positifs de l'autre, ce qui risquerait d'influencer ses choix.

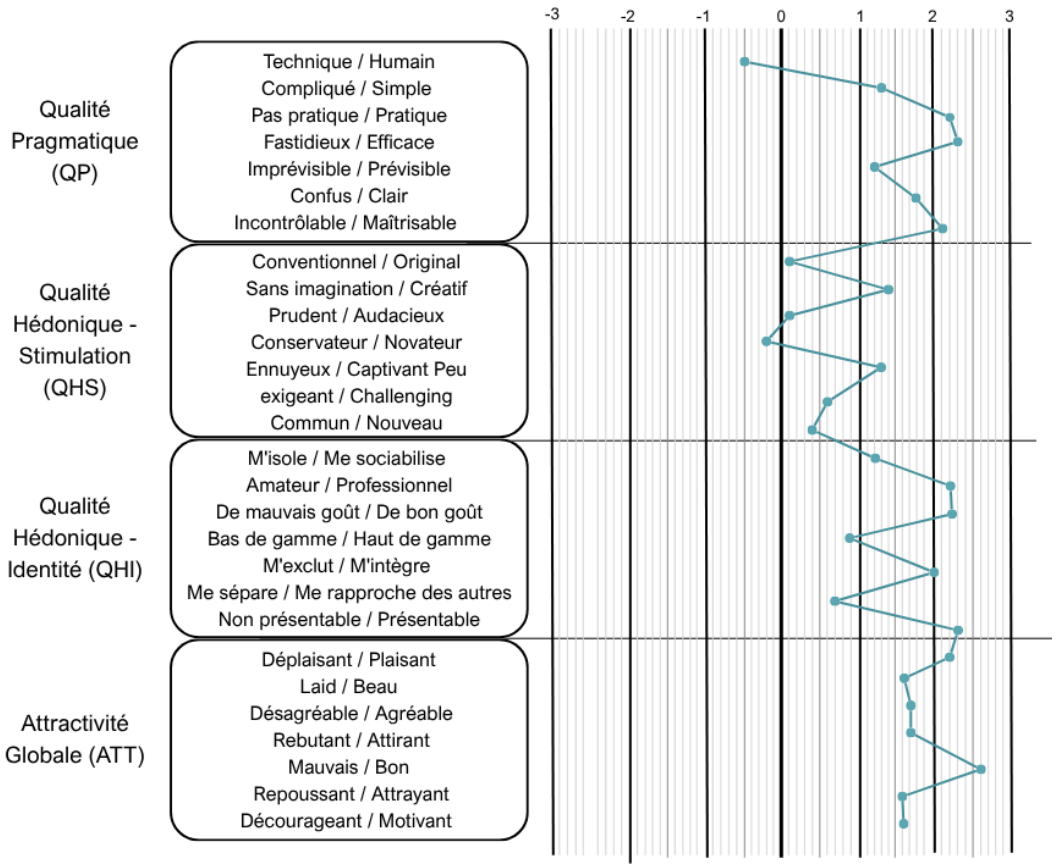
Commençons par réaliser le diagramme ou l'histogramme des valeurs moyennes des différentes sous-échelles (fig 30).

***Figure 30** : Diagramme ou histogramme des valeurs moyennes des différentes sous-échelles de l'AttrakDiff*



Les quatre sous-échelles obtiennent les valeurs suivantes : la qualité pragmatique (QP) atteint 1,44, la qualité hédonique (QHS) stimulation 0,53, la qualité hédonique identité (QHI) 1,64 et l'attractivité globale (ATT) 1,86. Les valeurs comprises entre 0 et 1 sont standard, le produit remplit son objectif sans aucun impact négatif. Les trois sous-échelles QP, QHI et ATT dépassent ce seuil témoignant d'une perception positive du dispositif. La sous-échelle stimulation est comprise entre 0 et 1, ce qui semble indiquer que ces aspects pourraient être améliorés. Ce résultat est cohérent au vu du chapitre de formation suivi étant l'introduction d'une longue formation basée sur l'acquisition du vocabulaire. Il serait intéressant de réaliser des tests similaires sur une autre partie de la formation afin de voir si les résultats restent les mêmes. Pour approfondir cette donnée, il serait intéressant de réaliser des entretiens avec les apprenants avec des questions ciblées, permettant de comprendre les améliorations attendues.

Figure 31 : *Diagramme des paires de mots permettant de distinguer les items positifs et négatifs*



Les valeurs extrêmes de ce graphique (fig 31) sont particulièrement intéressantes lorsqu'elles sont situées dans les valeurs extrêmes entre -2 et -3 ou 2 et 3, elles permettent de rendre compte des dimensions particulièrement positives et celles qui, au contraire, demandent des axes d'amélioration. De nombreux items se révèlent être satisfaisants sauf

dans la catégorie hédonique - stimulation, indiquant que le besoin de stimulation l'est moins que ceux des trois autres catégories. Ces résultats sont à mesurer car le test n'a été réalisé que sur le premier chapitre d'une formation à valeur d'introduction du vocabulaire lié à la formation. Il serait intéressant de repenser l'interactivité de ce chapitre et de réaliser de nouveaux tests afin de comparer les résultats. Cependant ce résultat ne permet pas de conclure sur toutes les formations : le test pourrait être effectué par chaque apprenant à la fin d'une formation. Cela pourrait servir d'outil de référence au conservatoire augmenté dans une optique d'amélioration continue du dispositif.

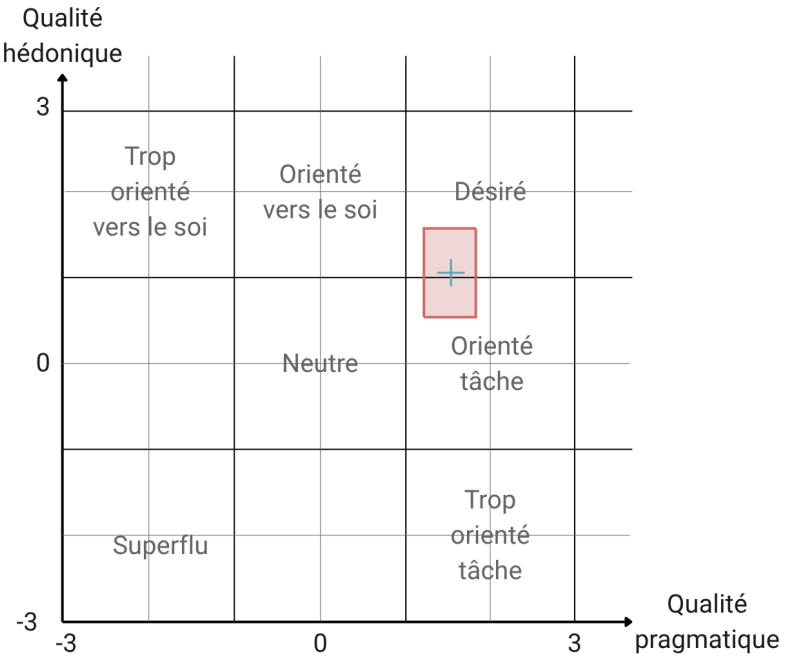
L'item QP1 "Humain-Technique", obtient la seule moyenne négative de l'ensemble du questionnaire (-0,5). Il ressort également que l'item « me rapproche » ou « m'isole des autres » est relativement bas (0,7). Ces valeurs sont à prendre en compte dans un dispositif où la formation est totalement asynchrone et en distanciel. Il pourrait être intéressant de développer des outils de communication entre pairs pour permettre un échange entre les apprenants d'une même formation. Il faudrait alors effectuer de nouveaux tests afin de savoir si la perception de la formation a changé sur ce point. Le développement d'outils de communication à mettre en place demande un coût de production supplémentaire qu'il ne sera pas possible de mettre en œuvre dans un futur proche.

Les items "exigeant" et "conservateur" s'expriment dans les résultats ce qui est cohérent avec l'institution qui souhaite proposer des formations répondant à son niveau de performance : des formations académiques d'un niveau supérieur.

L'item "commun" montre que l'organisation du parcours d'apprentissage n'a pas étonné les apprenants. Rappelons que le public cible est un public d'artistes et techniciens du spectacle vivant, dont une majorité d'apprenants créatifs et sensibles. Cependant, afin de répondre à la variabilité inter-individuelle, il est important que l'interface de navigation soit "commune" et prévisible afin que chaque profil puisse suivre les formations sans surcharge extrinsèque liée à l'interface.

Le dernier graphique réalisé est un portfolio des résultats permettant de déterminer la personnalité de la formation. Le calcul de l'intervalle de confiance permet de visualiser la disparité des résultats ou au contraire son homogénéité (fig 32).

Figure 32 : *Portfolio des résultats*



Une fiche de calcul a permis d'obtenir l'intervalle de confiance. Le calcul reprend les moyennes obtenues pour la qualité hédonique (les deux cumulées) et la qualité pragmatique, ainsi que l'écart type ce qui permet d'obtenir l'intervalle de confiance via "Confidence". Cet écart vaut 0,78 pour la qualité hédonique et 0,63 pour la qualité pragmatique.

	Moyenne - x	Moyenne + x	Intervalle = x
QP (largeur)	0,88	2,1	0,61
QH (hauteur)	0,56	1,62	0,53

Ces résultats déterminent la personnalité ou la direction de la formation, ici dans notre cas, elle est qualifiée de désirable avec le point moyen situé à 1,49 en abscisse et 1,09 en ordonné. Cette qualification fait part d'un bon équilibre entre qualité pragmatique et qualité hédonique, le dispositif est à la fois utilisable et agréable, ce qui est un résultat positif pour un dispositif de formation institutionnel.
L'intervalle de confiance donne une indication sur la disparité des réponses. Sur un plan statistique, les intervalles obtenus sont relativement étroits et témoignent d'une homogénéité de l'expérience au sein des apprenants. Cependant, deux profils (TF05 et CL78) ont des expériences différentes du reste du panel : malgré une homogénéité de l'expérience utilisateur et une bonne prédictibilité du dispositif, la variabilité individuelle est présente.

6.4. Concordances et particularités

Les trois mesures effectuées seront ici mises en regard afin de faire ressortir des convergences ou des particularités.

Il est possible d'observer au travers des résultats, une formation globalement efficiente (pour 60% $E > 0$) mais vécue différemment par chaque apprenant. Les valeurs AttrakDiff sont majoritairement positives. La formation testée remplit son objectif fonctionnel pour la majorité des profils. Les écarts-types élevés de l'échelle de Paas montrent l'inter-individualité forte des profils.

Le cas de SL81 est le plus atypique du panel. Ses coûts cognitifs sont en corrélation avec sa charge mentale perçue. SL81 est un expert aux multiples compétences. La théorie de Kalyuga et al. (2003), expliquant que SL81 pourrait avoir une charge cognitive élevée causée par le fait que son niveau d'expertise solliciterait des schémas déjà construits, peut être écartée étant donné que la formation utilisée pour calculer le coût cognitif était fictive et donc entièrement nouvelle pour l'apprenant. Il serait intéressant de prévoir un entretien avec cet apprenant pour échanger plus amplement sur son profil afin d'émettre des hypothèses sur les raisons de sa charge cognitive élevée.
Les cas de BD88 et de TF05 sont intéressants puisqu'ils sont tous les deux des profils neuro-atypiques (TDAH). Il s'avère que les personnes TDAH ont soit un déficit de dopamine soit une surproduction qui sont susceptibles d'aboutir au même résultat (Rolland et al., 2024). Cette donnée explique que chez ces deux apprenants, le circuit de dopamine n'a pas pu favoriser l'engagement dans le chapitre de formation. BD88 connaissait le contenu de formation ce qui lui a permis d'avancer rapidement en réduisant la charge intrinsèque (Paas et al., 2003). Cet apprenant m'a même exprimé pendant le test que la formation était agréable pour son profil car il y a des illustrations, de l'aération entre les blocs et pas trop de texte condensé. Contrairement à TF05, novice sur le sujet, pour qui la charge cognitive perçue n'était pas importante mais qui a exprimé un ressenti d'expérience plutôt négatif. En effet, le texte était trop présent pour son profil : pendant les vidéos, il scrollait l'écran afin d'être accompagné dans sa lecture des blocs. Cette action de sa part pousse à penser qu'il serait intéressant d'utiliser le double canal visuel et auditif pour des profils dont l'attention peut être fragile. Il serait intéressant de refaire le test avec cet apprenant sur une formation proposant de l'audio pour accompagner les blocs de texte. Cela semble indiquer que, même au cœur d'un neuro-atypisme, on retrouve une inter-individualité.

Ces tests avec un échantillon limité mais varié, permettent d'observer que la structure de formation proposée ne surcharge pas cognitivement la majorité des apprenants. Il serait

intéressant de réaliser un test diagnostique en début de formation afin de connaître les profils des apprenants. Une variabilité moins forte pourrait être observée d'un sujet à l'autre, indiquant ainsi la possibilité de répondre aux besoins d'un sous-groupe particulier des acteurs du spectacle vivant, bien que dans cette étude, la variabilité était déjà limitée aux professionnels de la musique. Ces observations rejoignent la recommandation de Kalyuga et al. (2003) sur l'estompement progressif du guidage et la nécessité de proposer des parcours différenciés selon le niveau d'expertise, une piste de développement directement applicable au dispositif dans ses prochaines itérations. Idéalement il faudrait une plateforme qui adapte ses formats au choix de l'apprenant, mais ce dispositif aurait un coût de production très élevé.

7. Discussion

Ce mémoire a débuté par une réflexion sur une expérience de professeure de danse face à la variabilité inter-individuelle des danseurs, selon leur corps, leur état, leur pratique… et s'est retrouvé propulsé dans une réflexion d'ingénierie pédagogique suite au cursus IPM au travers du conservatoire augmenté avec les neurosciences comme base de travail. Ce sujet fascinant est en évolution constante et permet de passer de l'intuition à la formalisation.
Les neurosciences ont apporté un cadre opérationnel dans la réflexion. Ayant vécu lors de l'apprentissage de la pédagogie jazz, une nouvelle profondeur de réflexion, les neurosciences m'ont permis d'entrer plus précisément dans les mécanismes nécessaires à l'apprentissage : savoir comment fonctionne le cerveau permet de savoir comment corriger, modifier, améliorer l'apprentissage.

En réponse à la problématique posée : "comment un dispositif de formation distanciel asynchrone peut-il prendre en compte la variabilité inter-individuelle d'un public de professionnels du spectacle vivant, à la lumière des neurosciences cognitives ?", les résultats montrent que la structure du dispositif répond à son objectif fonctionnel pour la majorité des apprenants, mais qu'il est complexe de l'optimiser de manière uniforme pour tous les profils. La variabilité inter-individuelle se manifeste à tous les niveaux de mesure : charge cognitive objective, charge subjective, efficience et expérience utilisateur.

Les résultats de perception de charge cognitive et d'efficience montrent une dispersion assez importante au sein de l'échantillon, reflet de la variabilité inter individuelle. L'échantillon est composé de professionnels de la musique aux âges et parcours hétérogènes malgré une évolution commune dans le monde de la musique. La plasticité cérébrale de chaque professionnel de la musique est singulière puisqu'elle dépend de l'expérience de vie de

l'apprenant (Vidal, 2012). La plasticité cérébrale témoigne d'une différence de connexions entre les neurones : la vitesse et la nature de traitement des informations sont différentes
À cela s'ajoute la variabilité intra-individuelle décrite par de Ribaupierre (2015) : un même apprenant peut se trouver dans un état de fragilité cognitive variable d'une session à l'autre, ce qui signifie que les résultats obtenus sont également dépendants de l'état de chaque apprenant au moment précis du test. Cette dimension est complexe à contrôler et constitue un facteur explicatif supplémentaire des résultats obtenus.
Plusieurs paramètres entrent en jeu dans l'impact des informations données par le chapitre de formation proposée. Les connexions neuronales permettent l'interaction des différentes mémoires. Selon Baddeley (1992), la mémoire de travail est un espace de traitement temporaire qui reçoit les stimuli de nos sens et les connaissances issues des mémoires sémantique et implicite de la mémoire à long terme. Cette caractéristique permet de comprendre que malgré un contenu identique, chaque apprenant n'a pas reçu les informations de la même façon. De plus cette mémoire de travail n'est pas égale pour tous : en effet, elle a un contenant limité en fonction de l'apprenant (Baddeley, 1992). Ce qui accentue et appuie la différence d'efficience de la formation.

Afin de capter l'attention et favoriser l'apprentissage, il est nécessaire d'activer le circuit de dopamine : Koepp et al (1998) le constate au travers les jeux vidéos, alors que Dehaene (2018) le constate par n'importe quelle source stimulante pour l'apprenant. Le choix des activités n'a donc pas eu le même impact sur tous les apprenants : la comparaison des résultats de l'AttrakDiff et de l'efficience nous permet de corréler ces informations.
D'abord les profils présentant une activation hédonique forte ont trouvé le chapitre captivant et engageant. CL78 et CI97 ont répondu les scores maximaux en qualité hédonique (captivant, motivant et plaisant) indiquant la stimulation du circuit de dopamine. Cette activation n'assure pas à elle seule l'efficience. En effet, l'efficience de formation est différente entre les deux apprenants : CL78 obtient une efficience négative et CI97 une efficience positive. CL78 est plus âgé que CI97 et gère dans sa carrière professionnelle les contrats de ces employés : elle est donc experte pour le sujet proposé par le chapitre 1 ce qui appuie le reversal effect (Kalyuga et al., 2003). SL81 a des scores élevés pour les items "captivant" et "plaisant", cependant l'item "motivant" obtient un score moyen. Dans le cas de SL81, le circuit de dopamine a été activé, sa motivation était même visible lors du test par ses réactions positives aux activités interactives. SL81 présente pourtant une charge subjective particulièrement élevée qui amène la limité structurelle de la mémoire de travail (Baddeley, 1992). La richesse des connexions expertes de SL81 sature la mémoire de travail indépendamment du plaisir ressenti.
Le second groupe de profils ne présente pas d'activation hédonique, le circuit de dopamine

n’a pas été activé : TF05 a énormément de scores négatifs notamment sur les items “compliqué”, “confus” et “pas pratique”. La charge extrinsèque, étant l’effort mental pour comprendre comment l’outil fonctionne (Sweller par Tricot 1998) a pris le dessus. Pourtant la formation est efficiente pour ce profil tout comme le profil BD88 ayant des scores négatifs ou proches du zéro sur le plan hédonique mais un bon résultat d’efficience : la mémoire de travail a traité l’information, cependant sans l’activation du circuit de dopamine la consolidation dans la mémoire à long terme sera compromise (Dehaene, 2018). BD88 est un expert et connaissait le contenu de la formation avant de la suivre. Dans ce cas, le reversal effect de Kalyuga et al. (2003) apparaît sous le versant motivationnel : le dispositif trop guidé pour un expert génère de l’ennui. Ce qui est confirmé par le coût cognitif très bas de BD88, révélant un manque de stimulation, de nouveauté de surprise lié à son expertise : cependant c’est la qualité pragmatique qui lui a permis d’exprimer un retour plutôt positif sur l’organisation de l’interface du chapitre. BD88 et TF05 sont tous les deux des profils neuroatypiques (TDAH) : leur circuit de dopamine est susceptible de produire trop peu ou trop de dopamine rendant l’engagement plus complexe (Rolland et al., 2024)
Pour le reste du panel, les résultats des items sont similaires pourtant l’efficience de formation est différente, en effet, FLM05 et MC92 ont une efficience négative contrairement à IL07, PD67 et TB87. L’activation du circuit de dopamine n’est pas gage d’efficacité d’une formation : cette divergence s'explique par les théories de Sweller (cité par Tricot, 1998) : ces profils, novices face aux concepts juridiques, ont surpassé leur capacité de traitement rendant l'assimilation incomplète malgré un engagement de surface soutenu par le design émotionnel (Um et al., 2012).

Les scores des items “clair”, “maîtrisable”, “efficace”, “pratique”, relevant de la qualité pragmatique de l’AttrakDiff sont élevés. L’interface du chapitre n’a pas demandé aux apprenants de mobiliser une charge extrinsèque élevée et ce pour tout le panel. La mémoire de travail ayant un contenu limité (Baddeley, 1992) la diminution de la charge extrinsèque permet de la préserver et ainsi laisser la place à la charge intrinsèque permettant de comprendre le contenu via les remontées d’information de la mémoire sémantique et implicite et à la mémoire germane permettant de créer de nouveaux schémas mentaux (Paas et al., 2003).
L’attention joue un rôle dominant en sélectionnant les informations essentielles parmi un flux d’informations important (Sperling, 1963). Les tests n’ont pas été effectués dans les mêmes conditions : certains apprenants étaient en présentiel, d’autres en distanciel : les apprenants en présentiel n’avaient que l’écran avec la formation alors qu’en distanciel, des stimulis supplémentaires sont présents (interface de la visioconférence et du partage d’écran) : la charge extrinsèque était différente. Cependant les résultats ne montrent pas de tendance

liée à cette différence de conditions : en effet, l'efficience de formation a été positive pour des profils en présentiel comme en distanciel et inversement pour l'efficience négative.
Malgré une qualité pragmatique très satisfaisante, l'efficience de formation est hétérogène dans le panel des apprenants. Une bonne ergonomie, seule, ne garantit pas l'apprentissage. C'est sur ce point que l'ergonomie atteint un consensus au sein de la variabilité inter-individuelle du panel : pour la divergence des dimensions hédoniques et des résultats d'efficience selon les profils, l'interface constitue un socle commun de lisibilité. Une bonne ergonomie seule ne garantit pas l'apprentissage, mais elle en constitue une condition nécessaire.

Une des limites et frustrations dans ce projet est le manque de temps : les neurosciences sont un vaste sujet passionnant au sein de l'apprentissage qu'il n'est pas possible d'explorer en si peu de temps. Refaire ce projet aboutirait à une construction différente du protocole ainsi qu'à récolter plus de données avec un échantillonnage plus grand d'apprenants. Le protocole de mesure de charge cognitive subjective et charge cognitive objective pourrait être réalisé sur une même formation afin de faire corréler les résultats plus précisément. Il serait intéressant de prévoir une analyse croisée entre plusieurs formations complètes afin de pouvoir faire ressortir des conclusions plus parlantes et plus constructives que celles obtenues. En effet, les apprenants n'ont testé qu'un seul chapitre de formation sur un sujet que certains connaissaient déjà. Le protocole pourrait prendre en compte l'expertise de l'apprenant par une évaluation diagnostique mais aussi un questionnaire révélant leur état émotionnel au moment de l'arrivée pour le test.
Dans les erreurs techniques, la prise du temps de référence a été un problème sur plusieurs cas et il aurait fallu prendre plusieurs fois ce temps de référence afin de pouvoir avoir une moyenne permettant d'éviter une seule mesure inexploitable.
Le croisement des connaissances est un concept de Bjork et Bjork qui aurait été intéressant à mettre en place. Il consiste à solliciter l'apprenant à aller rechercher les différents apprentissages afin de résoudre une situation. Les cas concrets utilisés au cœur des formations répondent à ce concept qui mériterait d'être plus amplement exploité.
Il aurait été intéressant de pouvoir prendre plus de temps sur les cas neuro-atypiques afin de chercher des solutions leur permettant de suivre une formation : pour cela il aurait fallu de nouveaux tests ainsi qu'un panel d'apprenants neuro-atypiques plus large afin de pallier la particularité du manque de dopamine de ces profils et permettre de trouver des leviers pour leur permettre de s'engager activement dans la formation.
Enfin les recherches du design émotionnel n'ont pas été suffisamment exploitées et mises en place au sein du dispositif pour pouvoir rentrer pleinement dans cette discussion.

Dans ce début d'analyse, les améliorations possibles à mettre en place, si le coût de production le permet, serait de proposer des parcours de formation différenciés. En effet, cela permettrait de répondre à la variabilité inter-individuelle du public cible et gérer le reversal effect : une évaluation diagnostique pourrait ainsi court-circuiter un chapitre de bases théoriques pour passer directement à des études de cas plus complexes afin de maintenir l'attention sans surcharger la mémoire de travail. Ces parcours adaptatifs offriraient également une réponse inclusive aux profils neuroatypiques (TDAH) en évitant le décrochage par sous-stimulation (cas de BD88).
La haute qualité pragmatique ne suffisant pas, il est important de systématiser le principe de segmentation de Mayer. La durée des activités et des leçons doit rester courte comme elle l'est déjà. De plus, si un texte dense et complexe accompagne une infographie, il serait judicieux de séparer les deux canaux de traitement en appliquant le principe de modalité de Mayer. Proposer, par exemple, une explication audio à la place du texte écrit permettrait de ne pas surcharger le canal visuel de la mémoire de travail (Baddeley, 1992) déjà mobilisé par l'analyse de l'image. Cela réduirait la charge extrinsèque et éviterait l'épuisement attentionnel constaté chez des profils comme SL81.
Enfin, pour pallier le manque de données sur un grand échantillon et stabiliser le protocole, le test de l'AttrakDiff pourrait devenir un test de fin de formation automatisé dans LearnDash pour tous les apprenants. Cela permettrait de recueillir un retour d'expérience des utilisateurs beaucoup plus complet et continu.

Les résultats ont montré que tous les apprenants suivant la même formation l'ont vécu différemment. Ces résultats ont montré qu'un dispositif unique ne peut optimiser l'apprentissage pour tous les profils. Les neurosciences aident à se rapprocher au plus près de la conception d'un dispositif qui maximise l'apprentissage et aide à comprendre et gérer la variabilité inter-individuelle. Un dispositif unique ne peut répondre de manière optimale à tous les profils, mais la compréhension des mécanismes permet de mettre en place une ingénierie plus adaptative, capable de se rapprocher au plus près des besoins de chaque apprenant.

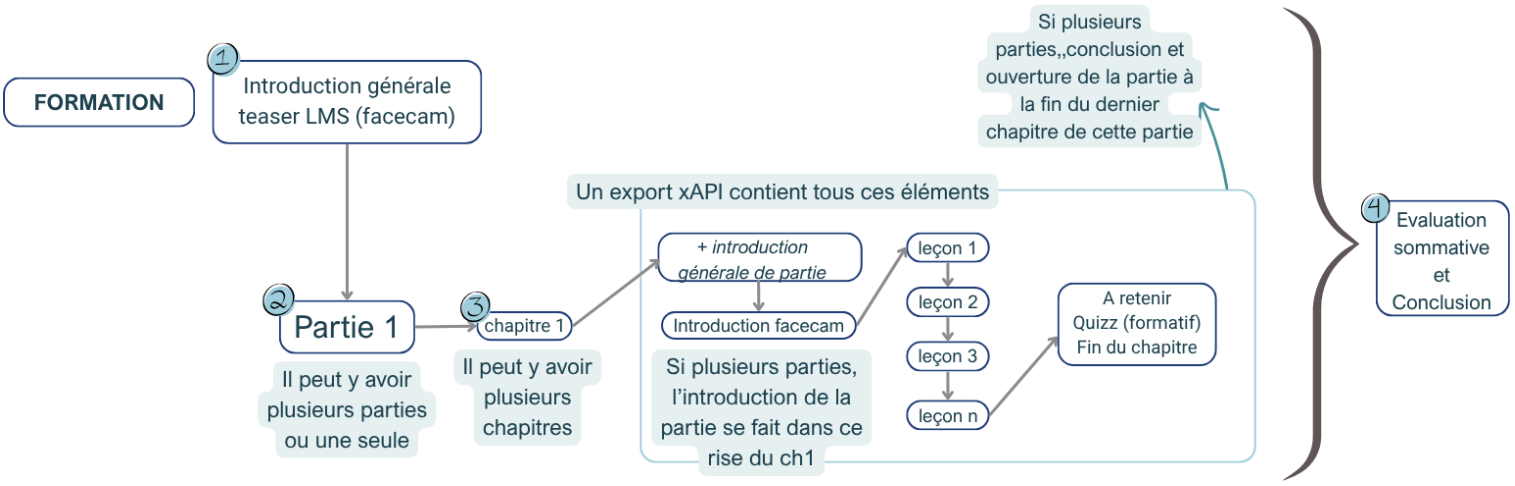
8. Conclusion

L'expérience a été très riche : intégrer une équipe dans la construction d'un projet d'envergure, contribuer à la scénarisation de formations destinées à rayonner à l'international, utiliser les différentes compétences du métier d'ingénieur pédagogique, expérimenter, analyser, progresser et évoluer.

La variabilité inter-individuelle n'est pas un frein à la conception d'un dispositif, au contraire elle pousse à chercher, se renouveler, avancer, développer la didactique et la pédagogie. Cette question passionnante est au cœur du métier : comment réussir à offrir une expérience d'apprentissage efficace et agréable à chaque apprenant, que ce soit dans la conception d'un dispositif ou dans un cours de danse ?

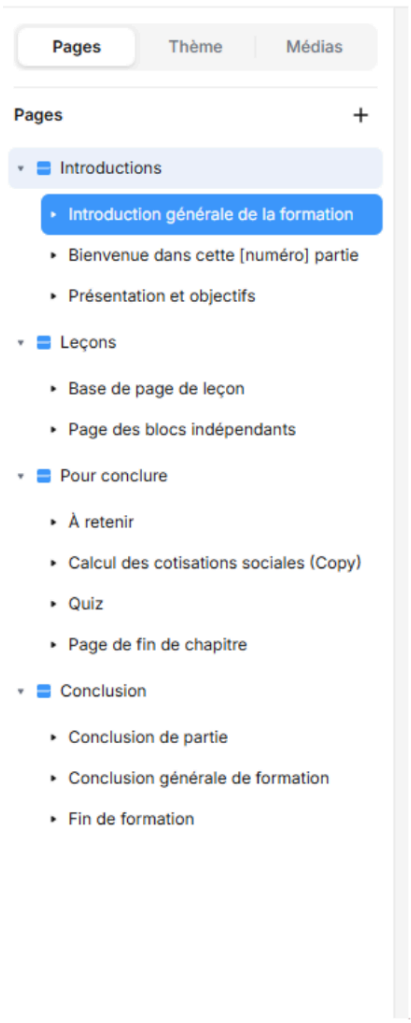
Continuer ce projet, ce serait engager un nouveau test, pensé différemment : un contenu de formation serait scénarisé sous plusieurs formes, selon les blocs mis en place au conservatoire augmenté. Chaque apprenant recevrait de manière aléatoire le contenu de formation. Afin d'obtenir des résultats exploitables, il serait nécessaire d'avoir un échantillonnage conséquent pour compenser statistiquement les variations. Chaque apprenant révèlerait une mesure objective par la mesure de la double tâche et une mesure subjective par l'échelle de Paas. Ces deux mesures permettraient de se rendre compte de l'éventuelle corrélation entre efficience et ressenti. Elles permettraient également de savoir si le contenu est à l'origine de la charge cognitive ou si la présentation influe sur cette charge : il serait possible d'observer une charge cognitive corrélée à la leçon, indiquant que le contenu est en cause, ou corrélée au choix de présentation, montrant dans ce cas que le choix du type de présentation influe sur la facilité d'apprentissage. Ces recherches pourraient constituer une suite au travail exploratoire qui vient d'être réalisé.

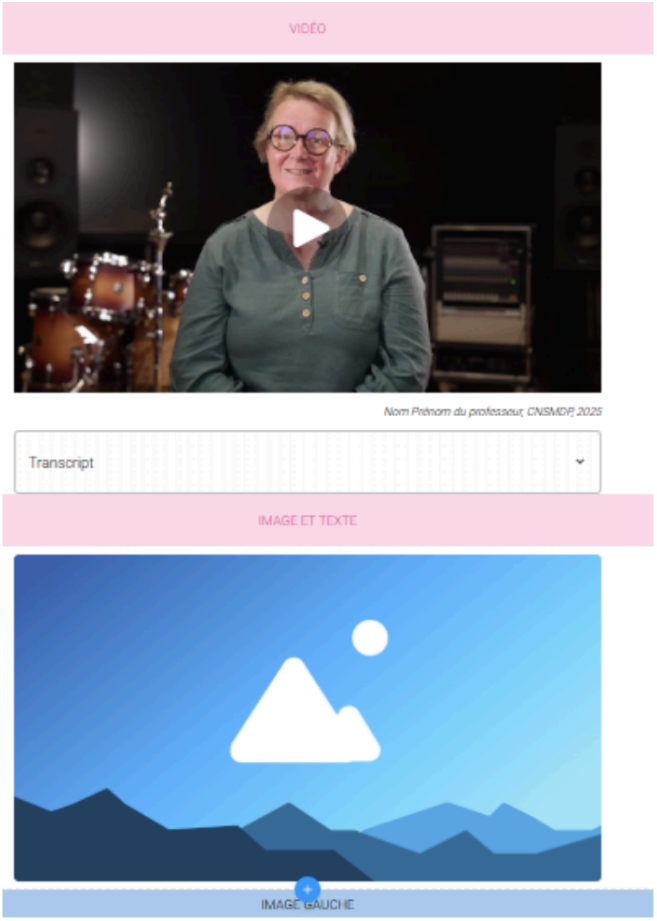
ANNEXE 1 : Arborescence de formation

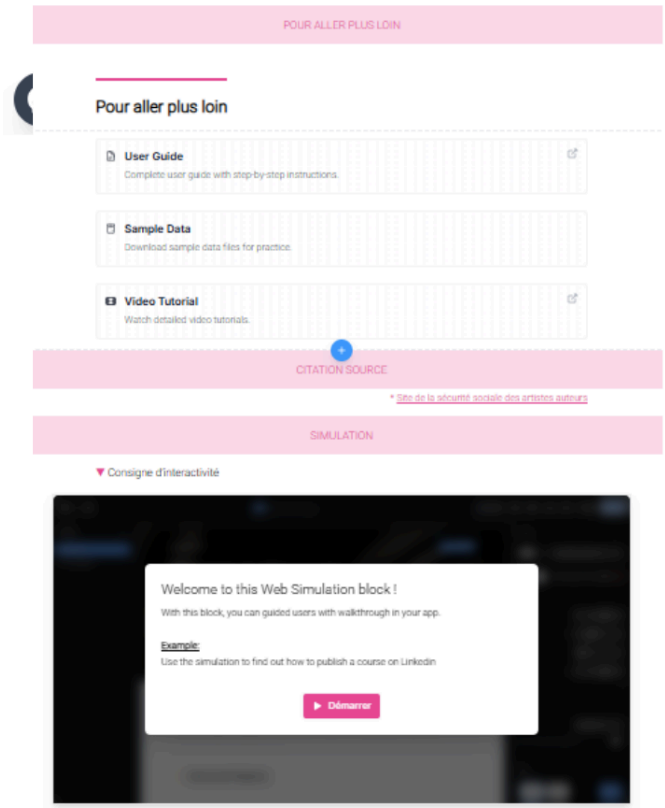


NOMENCLATURE	DÉFINITION	DUREE*
PARCOURS DE FORMATION	**Plus haut niveau** *composé de plusieurs formations*	10h à 200h
FORMATION	**Parcours pédagogique standard** *composé de plusieurs parties/chapitres*	1h à 30h
GRANDE PARTIE	**Titre chapeau côté LMS** *permet d'organiser ses chapitres si besoin*	n/a
CHAPITRE	1 module Rise - 1 export xAPI *composé* de plusieurs leçons	5mns à 1h
SOUS-CHAPITRE	**Titre chapeau côté Rise** permet d'organiser ses leçons si besoin	n/a
LEÇON	**Page scrollable dans Rise** *composée de blocs*	2mns à 20mns
BLOC	Format digital minimal d'un contenu (texte, vidéo, interactivité, schéma, etc.)	10secs à 5mns

ANNEXE 2 : Les templates sous ScormStack



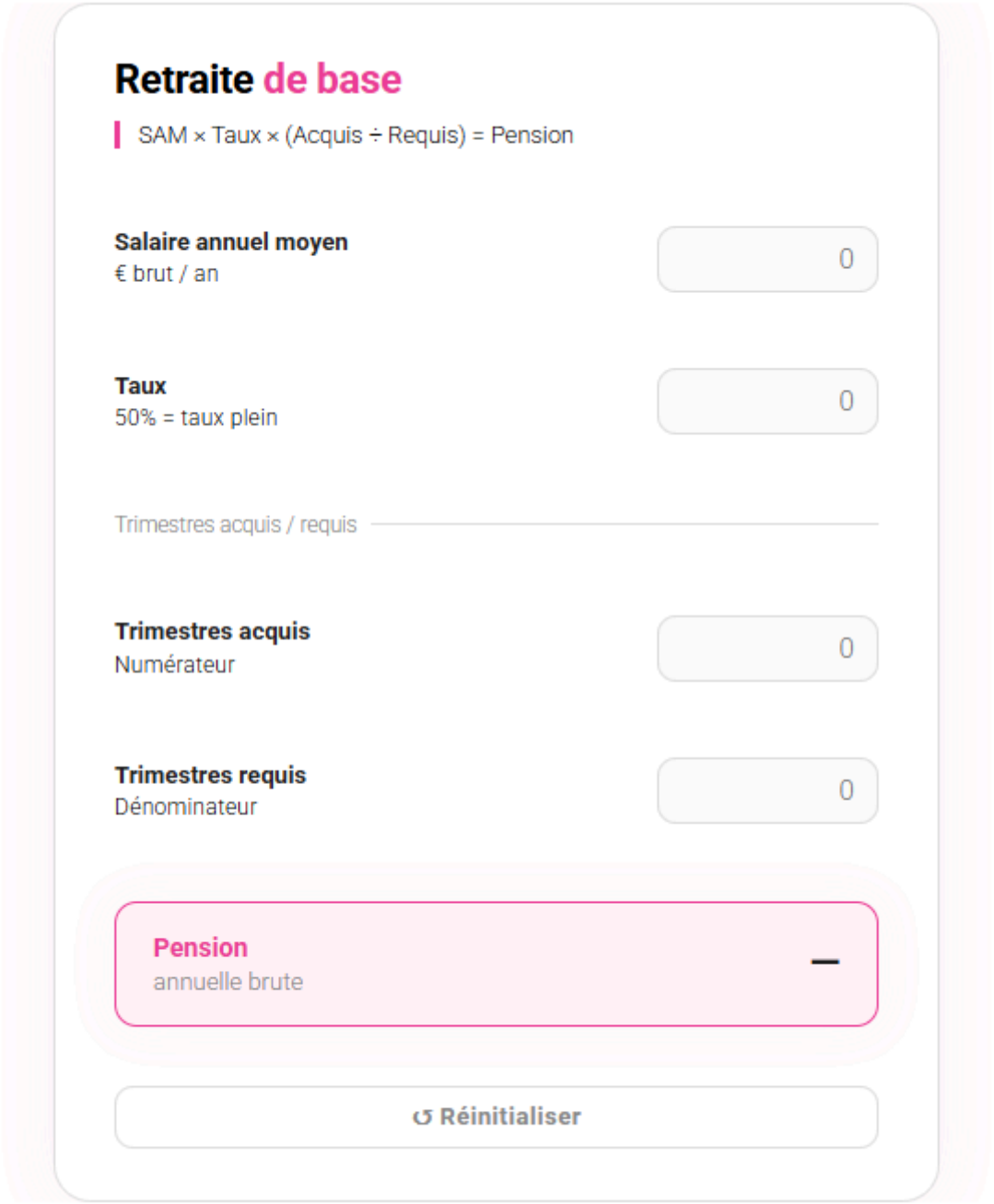




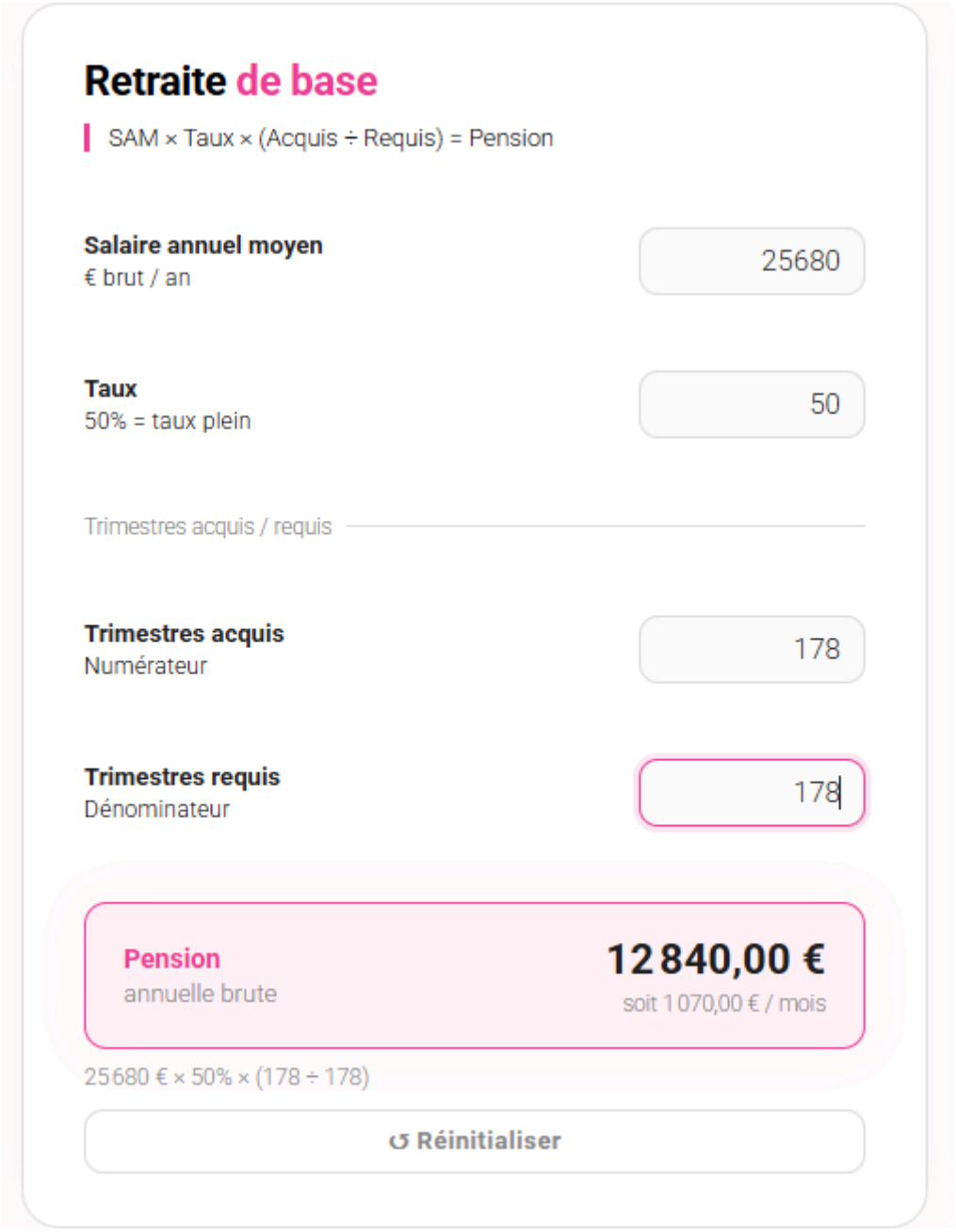


ANNEXE 3 : Bloc code

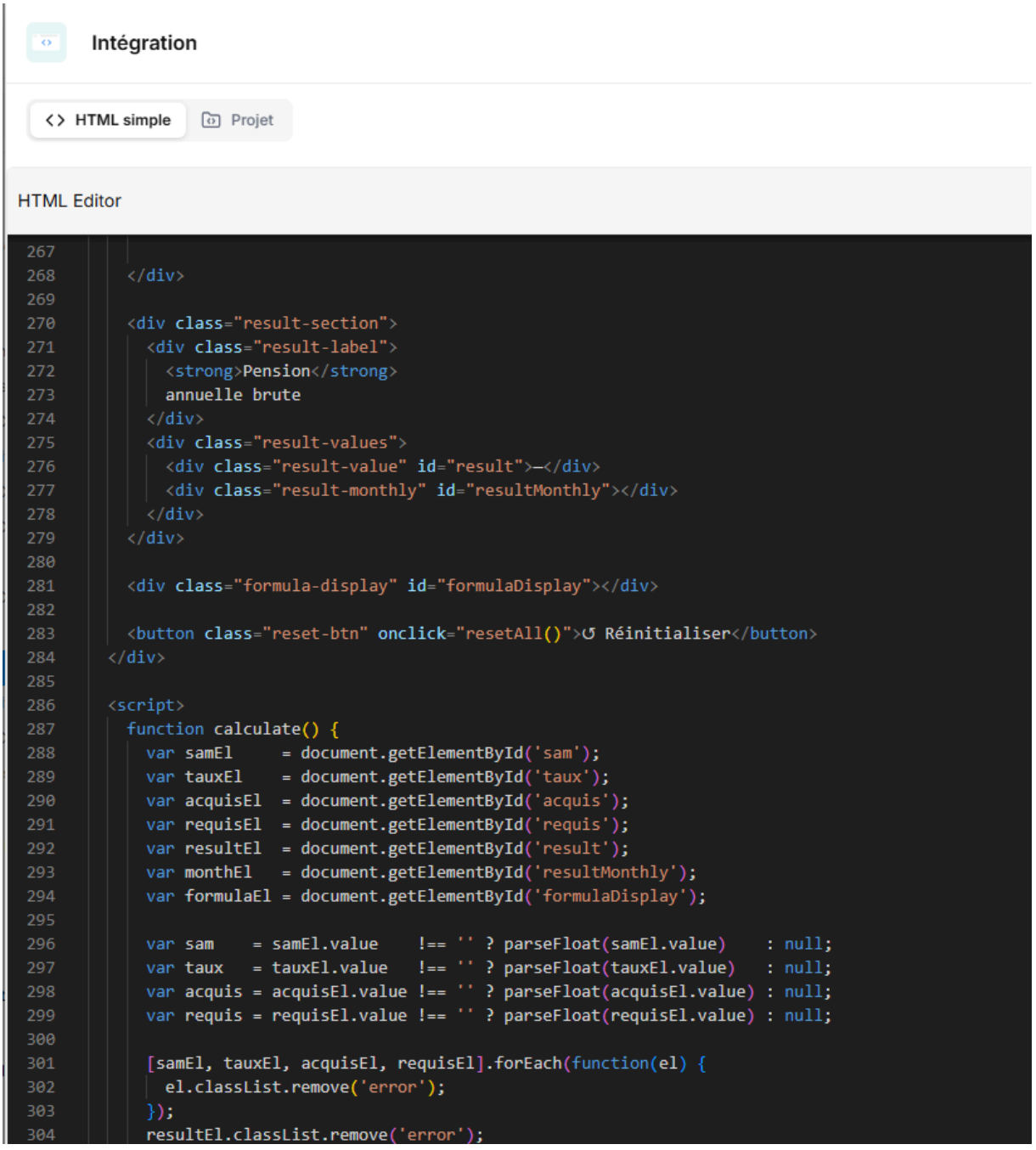
Capture d'écran 1 : *Rendu de la calculatrice codée sous ScormStack dans un bloc code*



Capture d'écran 2 **:** *Calcul d'une pension de retraite fictive, le résultat s'affiche automatiquement*



Capture d'écran 3 **:** *Extrait du code permettant à la calculatrice de réaliser les calculs entrée dans les zones de saisi.*




```
267
268     </div>
269
270     <div class="result-section">
271       <div class="result-label">
272         <strong>Pension</strong>
273         annuelle brute
274       </div>
275       <div class="result-values">
276         <div class="result-value" id="result">—</div>
277         <div class="result-monthly" id="resultMonthly"></div>
278       </div>
279     </div>
280
281     <div class="formula-display" id="formulaDisplay"></div>
282
283     <button class="reset-btn" onclick="resetAll()">↺ Réinitialiser</button>
284   </div>
285
286   <script>
287     function calculate() {
288       var samEl     = document.getElementById('sam');
289       var tauxEl    = document.getElementById('taux');
290       var acquisEl  = document.getElementById('acquis');
291       var requisEl  = document.getElementById('requis');
292       var resultEl  = document.getElementById('result');
293       var monthEl   = document.getElementById('resultMonthly');
294       var formulaEl = document.getElementById('formulaDisplay');
295
296       var sam    = samEl.value    !== '' ? parseFloat(samEl.value)    : null;
297       var taux   = tauxEl.value   !== '' ? parseFloat(tauxEl.value)   : null;
298       var acquis = acquisEl.value !== '' ? parseFloat(acquisEl.value) : null;
299       var requis = requisEl.value !== '' ? parseFloat(requisEl.value) : null;
300
301       [samEl, tauxEl, acquisEl, requisEl].forEach(function(el) {
302         el.classList.remove('error');
303       });
304       resultEl.classList.remove('error');
```

ANNEXE 4 : tournages

Installation du tournage en studio



Installation au sein du CNSMDP



Installation technique son et image



Aspect pédagogique, explications, guide



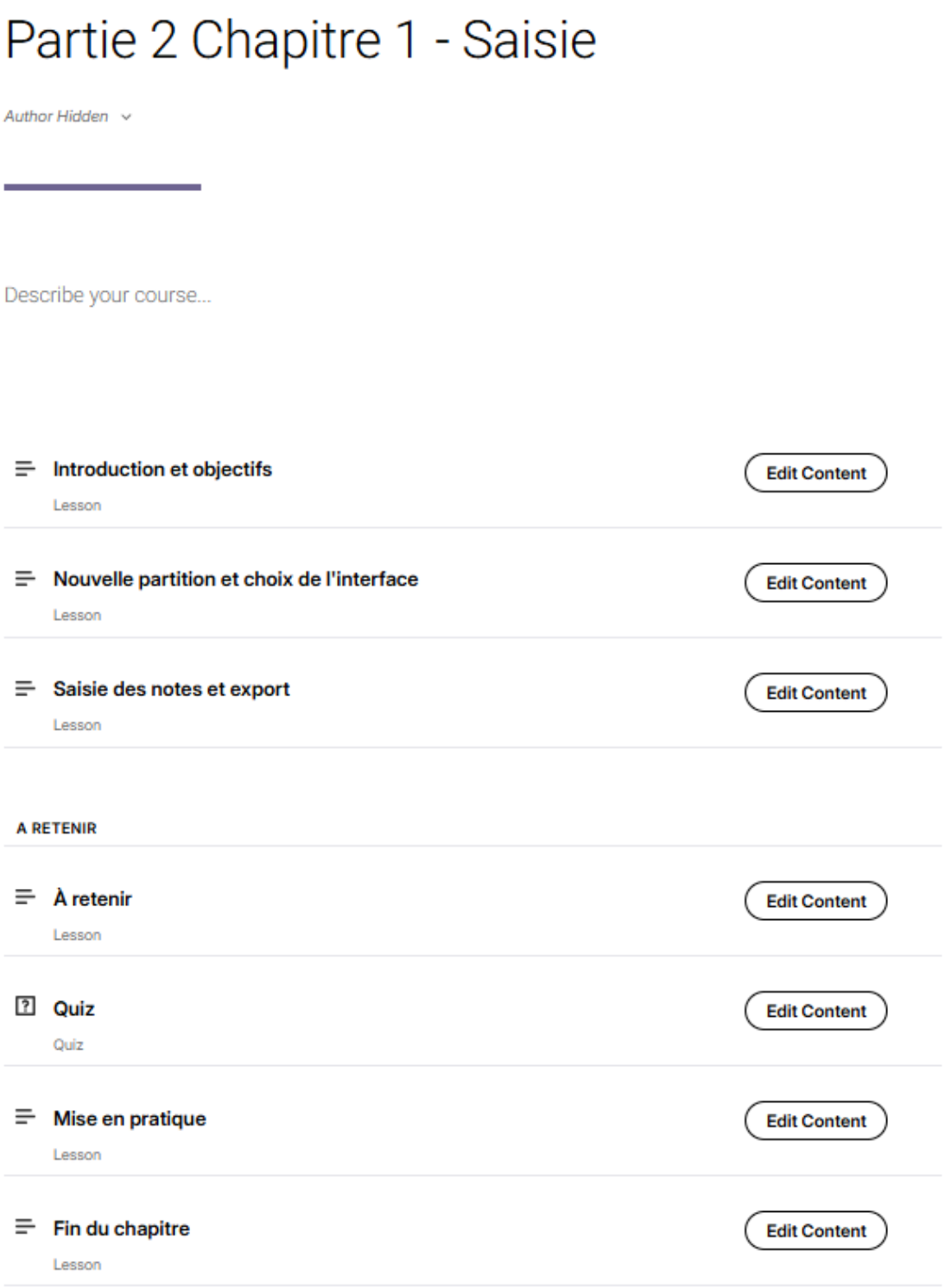
ANNEXE 5 : Les 9 façons de réduire la charge cognitive en multimédia

Extrait d'article : *Mayer, R. E., & Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. Educational Psychologist, 38(1), 43-52.*

Type of overload scenario	Load-reducing method	Description of reserch effect	effect size
Type 1: Essential processing in visual channel > cognitive capacity of visual channel			
Visual channel is overloaded by essential processing demands.	Off-loading: Move some essential processing from visual channel to auditory channel.	Modality effect: Better transfer when words are presented as narration rather than as on-screen text.	1.17 (6)
Type 2: Essential processing (in both channels) > cognitive capacity			
Both channels are overloaded by essential processing demands.	Segmenting: Allow time between successive bite-size segments.	Segmentation effect: Better transfer when lesson is presented in learner-controlled segments rather than as continuous unit.	1.36 (1)
	Pretraining: Provide pretraining in names and characteristics of components.	Pretraining effect: Better transfer when students know names and behaviors of system components.	1.00 (3)
Type 3: Essential processing + incidental processing (caused by extraneous material) > cognitive capacity			
One or both channels overloaded by essential and incidental processing (attributable to extraneous material).	Weeding: Eliminate interesting but extraneous material to reduce processing of extraneous material.	Coherence effect: Better transfer when extraneous material is excluded.	0.90 (5)
	Signaling: Provide cues for how to process the material to reduce processing of extraneous material.	Signaling effect: Better transfer when signals are included.	0.74 (1)
Type 4: Essential processing + incidental processing (caused by confusing presentation) > cognitive capacity			
One or both channels overloaded by essential and incidental processing (attributable to confusing presentation of essential material).	Aligning: Place printed words near corresponding parts of graphics to reduce need for visual scanning.	Spatial contiguity effect: Better transfer when printed words are placed near corresponding parts of graphics.	0.48 (1)
	Eliminating redundancy: Avoid presenting identical streams of printed and spoken words.	Redundancy effect: Better transfer when words are presented as narration rather than narration and on-screen text.	0.69 (3)
Type 5: Essential processing + representational holding > cognitive capacity			
One or both channels overloaded by essential processing and representational holding.	Synchronizing: Present narration and corresponding animation simultaneously to minimize need to hold representations in memory.	Temporal contiguity effect: Better transfer when corresponding animation and narration are presented simultaneously rather than successively.	1.30 (8)
	Individualizing: Make sure learners possess skill at holding mental representations.	Spatial ability effect: High spatial learners benefit more from well-designed instruction than do low spatial learners.	1.13 (2)

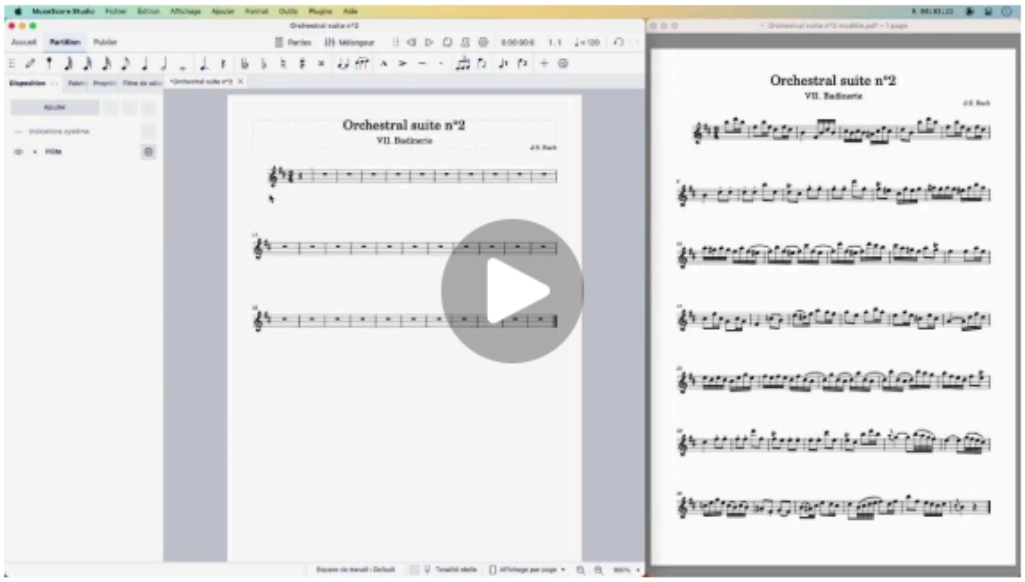
ANNEXE 6 : la formation musescore

Capture d'écran 1 : *contenu de la partie de chapitre 1 avec les différentes leçons et sous section : la partie "A RETENIR" comprend la mise en pratique, les leçons au dessus sont les tutoriels à suivant avant cette mise en pratique*



Capture d'écran 2 : *vidéo contenue dans une leçon tutoriel suivi des étapes clés qui reprennent les élément essentiels du tutoriel*

SAISIR DES NOTES



Fabrice Goubin, Éditions Lacroch', CNSMDP, 2025

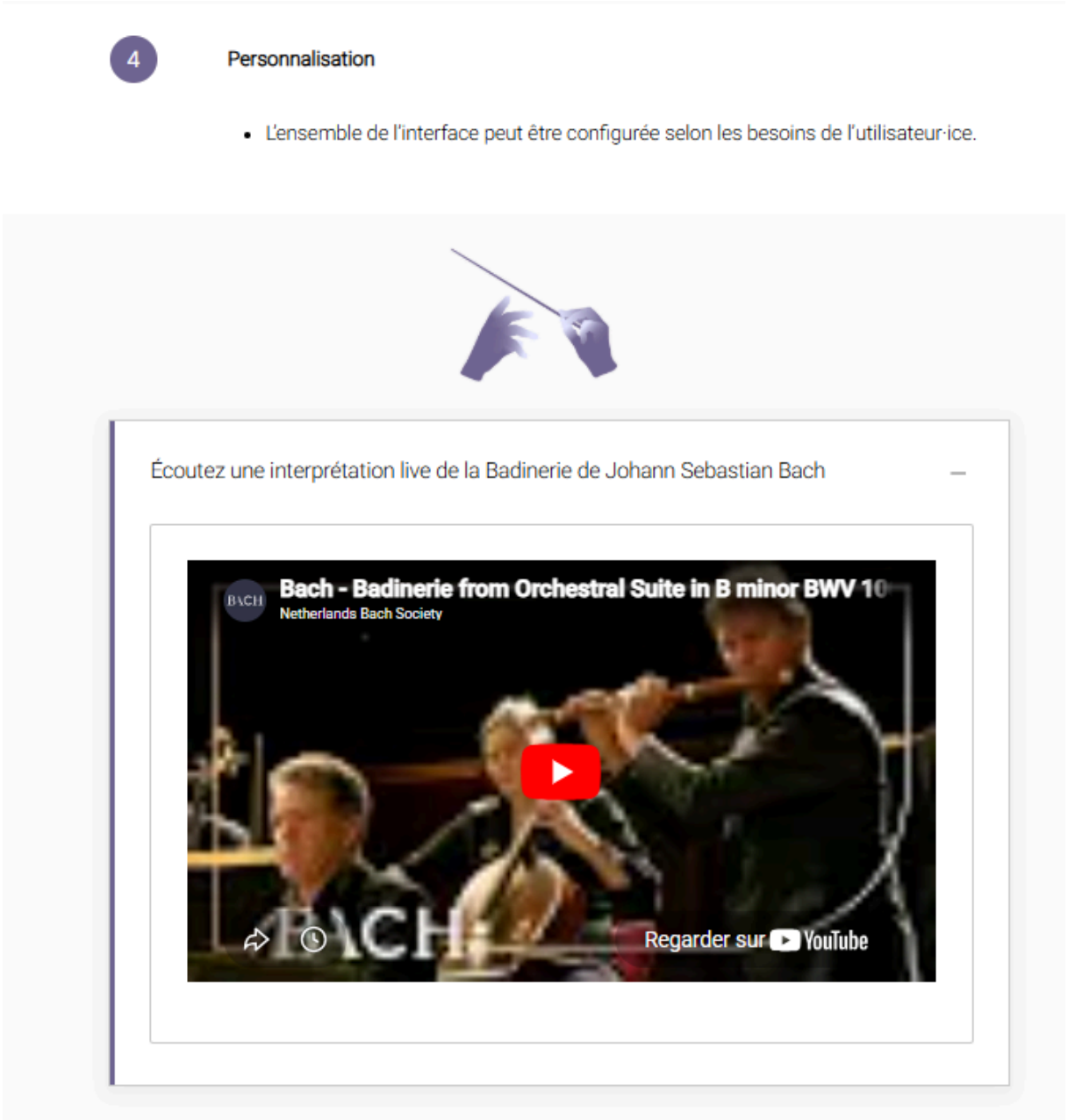
Transcript +

ÉTAPES CLÉS

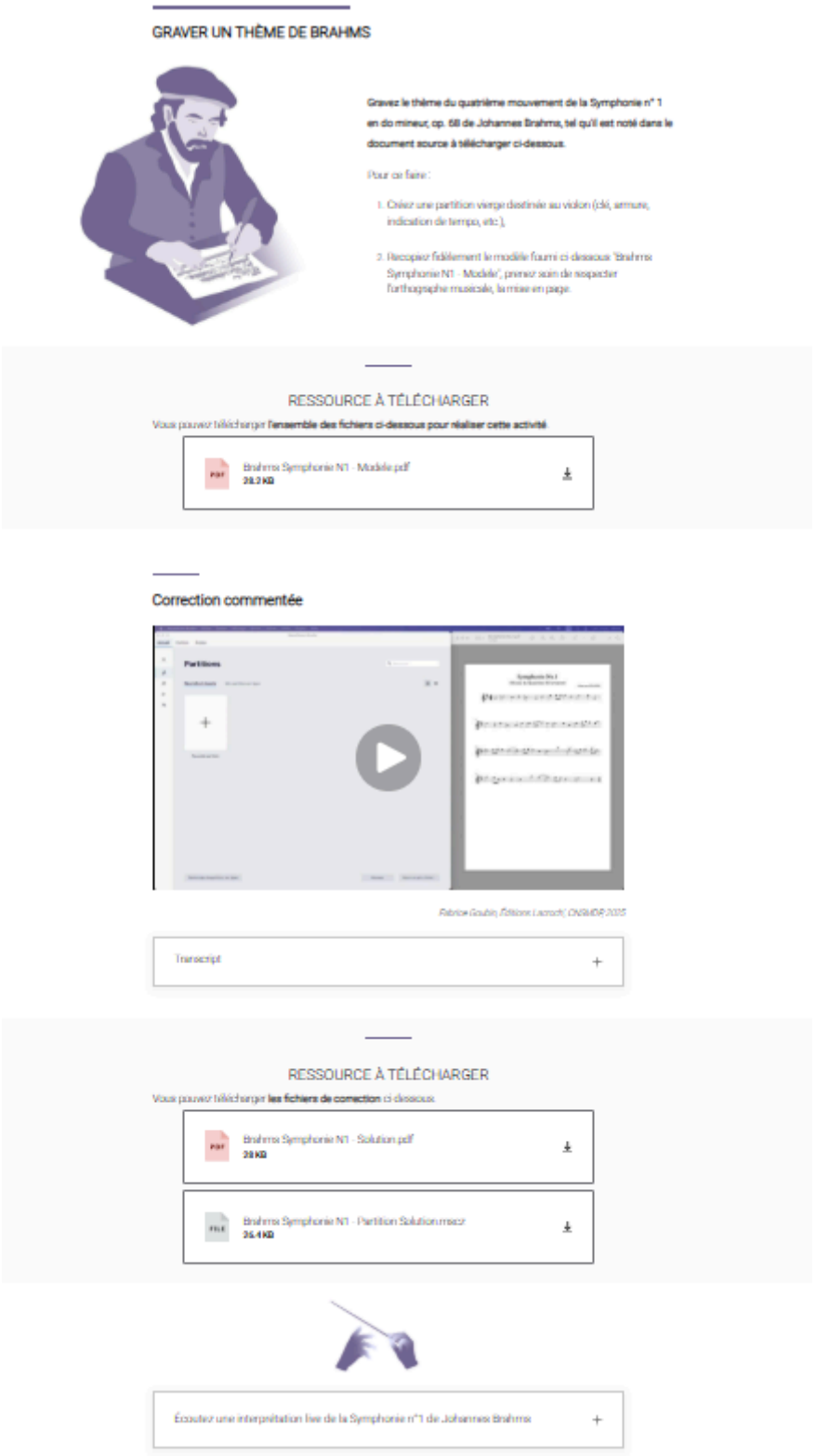
1 **Activation du mode saisie**

- Cliquer sur l'icône *crayon* ou utiliser la touche N.
- Méthodes possibles :
  - *Souris* : sélectionner la durée puis cliquer sur la portée (procédé lent).
  - *Clavier* : saisir en notation anglo-saxonne (A = La, B = Si, … G = Sol).

Capture d'écran 3 : *fin de la leçon tutoriel avec l'écoute musicale du morceau étudié ou gravé.*

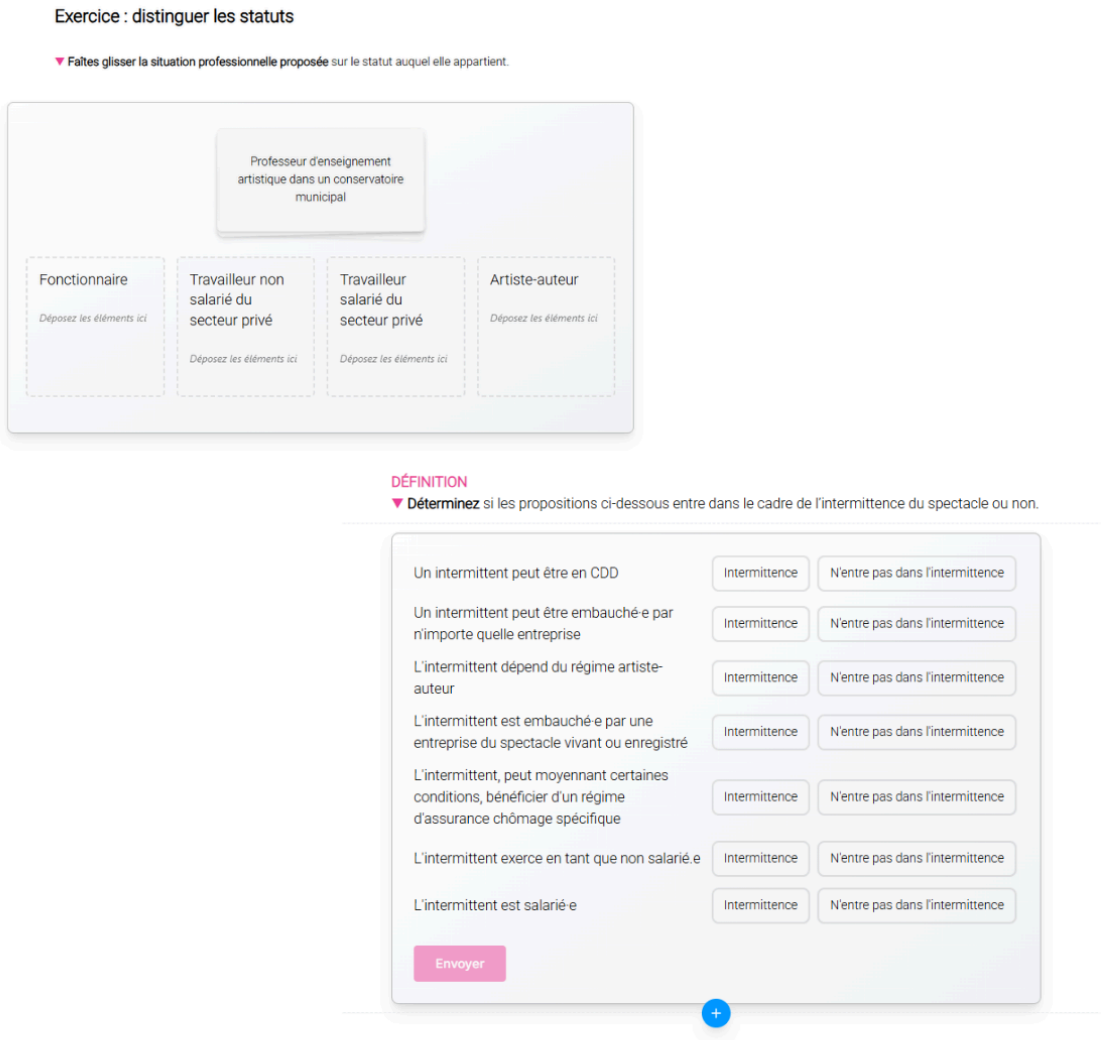


Capture d'écran 4 : *contenu de la mise en pratique avec la consigne, la ressource de base à télécharger, la correction commentée et les ressources corrigées à télécharger. Un bouton continuer après la consigne empêche l'affichage de la correction commentée.*



ANNEXE 7 : Exemple activité stimulant le circuit de dopamine

Capture d'écran 1 : *Divers activités interactives permettant à l'apprenant d'obtenir des feedbacks sur ses résultats*



ANNEXE 8 : Participants

PROFIL 1 : SL81 - 45 ans - Professeur de musique en collège et en percussions
Profil : Musicien, Chef d'Orchestre et Pédagogue

Formé à la percussion dès l'âge de 5 ans en structure municipale et perfectionné auprès de professeurs de conservatoires régionaux en cours du soir, il totalise une longue expérience à la direction d'orchestres d'harmonie et d'écoles de musique. Membre actif d'un Brass Band depuis plus de 20 ans, il occupe également des fonctions d'administrateur au sein d'une fédération musicale régionale. Son parcours professionnel intègre des fonctions de musicien militaire chez les pompiers de Paris, de cadre pédagogique en milieu associatif et scolaire, ainsi que de sonoriste sur des scènes internationales. Il a par ailleurs géré un commerce d'instruments d'occasion et détient une licence en comptabilité d'entreprise.

PROFIL 2 : TF05 - 21 ans - professeur de musique / étudiant spécialisation jazz
Saxophoniste, Pédagogue et Artiste Jazz

Âgé de 21 ans, ce professeur de musique et étudiant en spécialisation jazz présente un profil neuro-atypique (TDAH). Son parcours débute en école de musique puis en conservatoire à rayonnement départemental, suivi d'une scolarité en horaires aménagés (TMD) en conservatoire à rayonnement régional. Orienté vers le jazz depuis le second cycle, il intégrera un conservatoire royal en Belgique l'année prochaine. Il exerce actuellement comme enseignant dans des écoles municipales et se produit régulièrement en tant que saxophoniste au sein d'un ensemble professionnel sur le circuit des festivals.

PROFIL 3 : IL07 - 19 ans - trompettiste - professeur de musique
Trompettiste en voie de professionnalisation

Âgé de 19 ans, ce trompettiste en voie de professionnalisation a débuté l'instrument à 5 ans en structure associative. Il a suivi l'intégralité de sa scolarité en classes à horaires aménagés musique (CHAM), du primaire au lycée, au sein d'un conservatoire à rayonnement régional. Titulaire de la médaille de solfège, il prépare actuellement son Diplôme d'Études Musicales (DEM) en cycle de perfectionnement pour accéder à l'enseignement supérieur. Il justifie de trois ans d'expérience dans l'enseignement de la trompette en école de musique.

PROFIL 4 : CL78 - 48 ans - professeure de musique en école de musique et collèges
Clarinettiste, Chef d'Orchestre et Cadre de l'Éducation Nationale

Âgée de 48 ans, cette clarinettiste et cheffe d'orchestre a suivi un cursus en horaires aménagés (CHAM) jusqu'au baccalauréat en conservatoire à rayonnement régional, complété par des études de musicologie à la Sorbonne. Professeure en collège durant 12 ans en tant que contractuelle, elle est désormais lauréate du concours de l'enseignement. Elle assure la direction d'une harmonie depuis plus de 20 ans et enseigne la clarinette. Son profil inclut la maîtrise des outils numériques de communication pour l'enseignement en distanciel.

PROFIL 5 : FLM05 – Etudiante cursus perfectionnement
Trompettiste entrant au CNSMDP à la rentrée

Cette étudiante en cursus de perfectionnement intégrera le CNSMDP à la prochaine rentrée. Initiée à la trompette dès 5 ans en structure municipale, elle poursuit son parcours en CRR en classe TMD jusqu'à l'obtention d'une médaille d'or en solfège (DEM). Sa formation comprend également l'analyse, la culture musicale, le piano et le chant lyrique (fin de second cycle). Elle oriente son projet professionnel vers les orchestres symphoniques tout en envisageant l'enseignement, prioritairement pour les niveaux de troisième cycle.

PROFIL 6 : MC92
Bassiste et professeure de musique

Bassiste autodidacte dès 15 ans par une pratique de loisir, elle a complété sa formation initiale par un cursus de deux ans au Campus des musiques actuelles en 2012, couvrant le solfège, la MAO et l'ingénierie sonore. Parallèlement à une activité administrative, elle a validé un cursus CEPI/DNOP au conservatoire de Cambrai. Enseignante de basse depuis la fin de sa formation professionnelle, elle occupe un poste à mi-temps dans un conservatoire intercommunal depuis huit ans. Sous le statut d'intermittente du spectacle depuis 2025, son activité artistique se partage entre l'accompagnement de chanteurs, la production discographique et l'événementiel.

PROFIL 7 : PD67
Professeur de formation musical en conservatoire régional

Formé précocement en école municipale puis dans un conservatoire à rayonnement régional, il obtient sa médaille d’or de solfège dès la fin du collège. Son parcours est marqué par un accompagnement pédagogique intensif particulier et une diversification vers l'électroacoustique à Amiens. Après son service militaire à Paris, il obtient son Certificat d'Aptitude (CA) en 1991. Il a exercé des fonctions d'enseignant, de directeur, puis de directeur des études et adjoint dans un conservatoire régional. Spécialiste de la pédagogie et

des arrangements orchestraux, il a notamment encadré la préparation aux concours de la fonction publique (CDG, CEFEDEM).

Profil 8 : TB87
Professeur d'écriture

Initié à la musique dès 5 ans sous influence familiale, il a suivi un parcours institutionnel complet entre les écoles de musique locales et des conservatoires régionaux. Outre sa formation de trompettiste, il a étudié le piano au Conservatoire Royal de Bruxelles. Titulaire du Certificat d'Aptitude (CA), il a intégré les rangs du CNSMD de Paris et de Lyon. Il exerce aujourd'hui comme professeur d'écriture dans un conservatoire régional.

PROFIL 9 : BD88
Compositeur de musique à l'image

Présentant un profil TDAH, il a d'abord évolué en autodidacte avant d'intégrer une école d'audiovisuel durant quatre ans. Sa formation, initialement généraliste (image, montage, écriture), s'est spécialisée en dernière année dans la post-production et la musique de court-métrage. Il a exercé comme ingénieur de son, spécialiste du doublage et assistant de composition. Après dix ans sous le statut d'artiste-auteur dans le domaine de la fiction (téléfilms et séries), son activité actuelle se concentre sur la composition de jingles, la publicité et les contenus promotionnels pour le digital et l'événementiel.

PROFIL 10 : CI97
Chanteuse et artiste de comédie musicale

Formée au piano en cours particuliers pendant dix ans dès l'âge de 4 ans, elle pratique parallèlement la danse dans un conservatoire. Elle a débuté le chant au lycée en cours particulier et en chorale avant d'intégrer une école de comédie musicale pour un cursus de deux ans. Son parcours professionnel est marqué par l'interprétation du rôle principal d'une comédie musicale française, ainsi que par une expérience de soliste en groupe gospel, de soliste au sein de différents groupes de musique sur des scènes internationales.

ANNEXE 9 : Protocole, accueil et consignes

Phase	Déroulé	Durée	Matériel
Accueil	Discussion informelle permettant de faire connaissance avec le parcours de l'apprenant et faire baisser le stress si nécessaire. Installation du testeur, veiller à ce qu'il ne manque de rien et qu'il soit à l'aise.	5mn	
Étape 1 : le test de la charge cognitive objective.			
Consigne	Explications du déroulé de la première étape du test. Pratique sur un modèle exemple pour s'approprier la consigne Consigne : "Vous allez suivre une leçon de formation. Cette formation est inventée, le contenu de cette formation n'existe pas, seuls quelques termes liés à votre milieu professionnel sont insérés dans ce contenu fictif. Suivez simplement la formation, lisez les textes, regardez les vidéos, vous pouvez naviguer librement sans sortir de la page de formation. En haut de la page, à droite, vous avez un "B". Cette lettre passera au rouge au cours de la formation, appuyez sur entrée dès que vous vous rendrez compte que la couleur a changé. Avant de nous lancer dans la formation, nous allons faire quelques essais afin que vous puissiez vous familiariser avec le système. Rappelez vous, ce n'est pas vous qui êtes évalué, c'est la formation"	15mn	Ordinateur module de formation en ligne sur ScormCloud
Test	L'apprenant appuie sur la touche "entrer" dès qu'une lettre passe au rouge		
conclusion	Remercier l'apprenant pour ce premier test, lui proposer une pause de 5mn.		
Étape 2 : le test de la charge cognitive objective			
Consigne	Suivre une partie de formation tout en répondant aux questions de l'échelle de Paas, nous posons les questions et relevons les réponses à chaque fin de leçon du chapitre étudié Bien rappeler l'échelle avant chaque session de question pour être sur que le testeur donne le bon effort perçu Consigne : "Vous allez suivre un chapitre de formation, ce n'est pas la totalité de la formation. A chaque fin de leçon, je vous poserai quatre questions sur une échelle de 1 à 9 où 9 veut dire "très très fort" et 1 "très très faible". Je noterai vos réponses et vous pourrez continuer de suivre la leçon suivante et nous opérerons le même système. Rappelez-vous, vous n'êtes pas évalués c'est la formation qui l'est."	35mn	

Test	A chaque fin de leçon, faire une pause pour répondre aux quatres questions. Relever les réponses sur un tableau.		
Conclusion	Remercier l'apprenant, lui proposer une pause		
Étape 3 : AttrakDiff			
Consigne	Ouvrir le site web contenant le test AttrakDiff. Faire l'étape avec l'apprenant du nom et prénom être disponible mais en retrait pendant la durée du test <u>Consigne :</u> "Dernière phase de notre test. Vous avez en miroir deux mots. Selon votre expérience avec la formation que vous venez de suivre, choisissez en cochant la case de quel mot votre ressenti est le plus proche, répondez le plus spontanément possible."	5mn	Page web sur ordinateur
Test	Remercier le testeur, prendre un temps d'échange sur l'expérience vécue.		
	Durée totale	**60mn**	

ANNEXE 10 : Résultats mesure de la double tâche

Nom	Temps de référence	Temps vidéo	Temps Texte + image	Temps trois colonnes	Temps image interactive	Temps 3 colonnes avec image
TF05	1.425	x	1.085	5.232	3.95	10.916
IL05	3.1	0.399	8.95	0.683	4.384	6.75
CL78	2.127	11.654	1.383	0.5	1.416	1.582
SL81	0.394	4.081	20.717	11.716	17.333	20.148
FLM05	0	2.179	1.587	0.959	0.769	1.052
MC92	0.476	0.848	1.599	0.866	0.68	4.465
PD67	0.682	1.099	18.499	1.532	0.977	0.45
TB87	0.438	18.8	3.37	0.691	0.68	2.28
BD88	0.472	0.495	0.48	0.506	3.201	0.506
CI97	0.505	1.467	3.194	1.936	3.335	2.819

ANNEXE 11 : Tableau de relevé des mesures de la charge cognitive subjective

Rappel des questions

Question 1 : Combien estimez-vous l'effort mental fourni pour comprendre la leçon ?

Question 2 : Quelle a été la difficulté pour vous de mémoriser ces informations ?

Question 3 : Quelle était la difficulté de comprendre tous les éléments simultanément ?

Question 4 :Quelle était la difficulté de concentrer son attention sur les informations pertinentes ?

Tableau de relevé de mesures

	Testeur 1	**Testeur 2**	**Testeur 3**	**Testeur 4**	**Testeur 5**	**Testeur 6**	**Testeur 7**	**Testeur 8**	**Testeur 9**	**Testeur 10**
Testeur	**TF05**	**IL07**	**CL78**	**SL81**	**FLM05**	**MC92**	**PD67**	**TB87**	**BD88**	**CI97**
Score Quiz	**90%**	**90%**	**70%**	**70%**	**80%**	**60%**	**100%**	**90%**	**100%**	**100%**
Présentation et objectifs										
Q 1	5	3	2	4	5	1	4	3	1	6
Q 2	2	6	1	6	4	2	6	2	1	6
Q 3	2	4	3	5	6	2	2	2	1	6
Q 4	2	2	2	2	4	3	3	3	4	3
Les différents régimes sociaux										

Q 1	2	4	4	8	6	3	4	4	3	7
Q 2	1	7	4	8	4	3	5	3	3	4
Q 3	2	4	4	6	7	2	4	5	4	5
Q 4	3	5	4	9	4	3	4	3	3	3
Les différents statuts des artistes										
Q 1	3	2	6	5	3	4	3	3	1	3
Q 2	1	1	6	4	3	3	2	3	1	3
Q 3	5	3	6	4	4	4	2	3	1	2
Q 4	4	3	6	4	2	4	2	3	1	2
L'artiste du spectacle et l'intermittence										
Q 1	4	6	5	8	6	5	5	4	4	5
Q 2	4	6	5	7	5	4	5	5	1	4
Q 3	5	4	4	6	5	5	5	4	2	4
Q 4	4	4	4	8	4	4	4	3	4	3
Se situer dans cet écosystème										

Q 1	3	3	3	5	4	2	5	4	3	6
Q 2	3	2	3	5	4	3	4	3	5	6
Q 3	4	3	3	4	4	2	4	3	2	5
Q 4	4	4	3	5	3	4	4	3	4	3
Pour conclure										
Q 1	2	4	3	7	4	4	3	2	1	2
Q 2	2	5	5	7	3	4	2	3	1	2
Q 3	2	4	4	7	4	5	2	2	2	2
Q 4	2	4	5	8	4	5	2	3	3	2

ANNEXE 12 : Calcul des z scores

	TF05	IL07	CL78	SL81	FLM05	MC92	PD67	TB87	BD88	CI97
Score Quiz	**90%**	**90%**	**70%**	**70%**	**80%**	**60%**	**100%**	**90%**	**100%**	**100%**
Z score	0,36	0,36	-1,07	-1,07	-0,36	-1,79	1,07	0,36	1,07	1,07
									Moyenne	85%
									écart-type	0,14
Présentation et objectifs										
Q 1	5	3	2	4	5	1	4	3	1	6
Q 2	2	6	1	6	4	2	6	2	1	6
Q 3	2	4	3	5	6	2	2	2	1	6
Q 4	2	2	2	2	4	3	3	3	4	3
MOYENNE	**2,75**	**3,75**	**2**	**4,25**	**4,75**	**2**	**3,75**	**2,5**	**1,75**	**5,25**
Z score	-0,42	0,38	-1,03	0,79	1,19	-1,03	0,38	-0,63	-1,23	1,59
									Moyenne	3,275
									écart-type	1,24

Les différents régimes sociaux										
Q 1	2	4	4	8	6	3	4	4	3	7
Q 2	1	7	4	8	4	3	5	3	3	4
Q 3	2	4	4	6	7	2	4	5	4	5
Q 4	3	5	4	9	4	3	4	3	3	3
MOYENNE	**2**	**5**	**4**	**7,75**	**5,25**	**2,75**	**4,25**	**3,75**	**3,25**	**4,75**
Z score	-1,43	0,46	-0,17	2,19	0,61	-0,96	-0,02	-0,33	-0,64	0,3
									Moyenne	4,275
									écart-type	1,59
Les différents statuts des artistes										
Q 1	3	2	6	5	3	4	3	3	1	3
Q 2	1	1	6	4	3	3	2	3	1	3
Q 3	5	3	6	4	4	4	2	3	1	2
Q 4	4	3	6	4	2	4	2	3	1	2
MOYENNE	**3,25**	**2,25**	**6**	**4,25**	**3**	**3,75**	**2,25**	**3**	**1**	**2,5**
Z score	0,09	-0,65	2,13	0,83	-0,09	0,46	-0,65	-0,09	-1,57	-0,46
									Moyenne	3,125
									écart-type	1,35

L'artiste du spectacle et l'intermittence										
Q 1	4	6	5	8	6	5	5	4	4	5
Q 2	4	6	5	7	5	4	5	5	1	4
Q 3	5	4	4	6	5	5	5	4	2	4
Q 4	4	4	4	8	4	4	4	3	4	3
MOYENNE	**4,25**	**5**	**4,5**	**7,25**	**5**	**4,5**	**4,75**	**4**	**2,75**	**4**
Z score	-0,31	0,35	-0,09	2,32	0,35	-0,09	0,13	-0,53	-1,62	-0,53
									Moyenne	4,6
									écart-type	1,14
Se situer dans cet écosystème										
Q 1	3	3	3	5	4	2	5	4	3	6
Q 2	3	2	3	5	4	3	4	3	5	6
Q 3	4	3	3	4	4	2	4	3	2	5
Q 4	4	4	3	5	3	4	4	3	4	3
MOYENNE	**3,5**	**3**	**3**	**4,75**	**3,75**	**2,75**	**4,25**	**3,25**	**3,5**	**5**
Z score	-0,23	-0,89	-0,89	1,41	0,1	-1,22	0,76	-0,56	-0,23	1,74
									Moyenne	3,675
									écart-type	0,76

Pour conclure										
Q 1	2	4	3	7	4	4	3	2	1	2
Q 2	2	5	5	7	3	4	2	3	1	2
Q 3	2	4	4	7	4	5	2	2	2	2
Q 4	2	4	5	8	4	5	2	3	3	2
MOYENNE	**2**	**4,25**	**4,25**	**7,25**	**3,75**	**4,5**	**2,25**	**2,5**	**1,75**	**2**
Z score	-0,85	0,47	0,47	2,22	0,18	0,61	-0,7	-0,56	-0,99	-0,85
									Moyenne	3,45
									écart-type	1,71

ANNEXE 13 : Calcul de l'efficience

Tableau 1 : *Calcul des efficiences par leçon à partir du z score de formation et du z Performance par leçon*

ID	TF05	Efficience	IL07	Efficience	CL78	Efficience	SL81	Efficience
ZL1	-0,42	-0,55	0,38	0,01	-1,03	0,03	0,79	1,32
ZL2	-1,43	-1,27	0,46	0,07	-0,17	0,64	2,19	2,31
ZL3	0,09	-0,19	-0,65	-0,71	2,13	2,26	0,83	1,34
ZL4	-0,31	-0,47	0,35	-0,01	-0,09	0,69	2,32	2,4
ZL5	-0,23	-0,42	-0,89	-0,88	-0,89	0,13	1,41	1,75
ZL6	-0,85	-0,86	0,47	0,08	0,47	1,09	2,22	2,33
Z-score	0,36	**-0,63**	0,36	**-0,24**	-1,07	**0,81**	-1,07	**1,91**
ID	FLM05	Efficience	MC92	Efficience	PD67	Efficience		
ZL1	1,19	1,1	-1,03	0,54	0,38	-0,49		
ZL2	0,61	0,69	-0,96	0,59	-0,02	-0,77		
ZL3	-0,09	0,19	0,46	1,59	-0,65	-1,22		
ZL4	0,35	0,5	-0,09	1,2	0,13	-0,66		
ZL5	0,1	0,33	-1,22	0,4	0,76	-0,22		
ZL6	0,18	0,38	0,61	1,7	-0,7	-1,25		
Z-score	-0,36	**0,53**	-1,79	**1**	1,07	**-0,77**		
ID	TB87	Efficience	BD88	Efficience	CI97	Efficience		
ZL1	-0,63	-0,7	-1,23	-1,63	1,59	0,37		
ZL2	-0,33	-0,49	-0,64	-1,21	0,3	-0,54		
ZL3	-0,09	-0,32	-1,57	-1,87	-0,46	-1,08		
ZL4	-0,53	-0,63	-1,62	-1,9	-0,53	-1,13		
ZL5	-0,56	-0,65	-0,23	-0,92	1,74	0,47		
ZL6	-0,56	-0,65	-0,99	-1,46	-0,85	-1,36		
Z-score	0,36	**-0,57**	1,07	**-1,5**	1,07	**-0,55**		

Tableau 2 : *Efficience totale de la formation par apprenant*

	TF05	IL07	CL78	SL81	FLM05	MC92	PD67	TB87	BD88	CI97
ZPERF(y)	0,36	0,36	-1,07	-1,07	-0,36	-1,79	1,07	0,36	1,07	1,07
ZMENTAL(x)	**-0,63**	**0,02**	**0,07**	**1,63**	**0,39**	**-0,37**	**-0,02**	**-0,45**	**-1,05**	**0,3**
	-0,7	-0,24	0,81	1,91	0,53	1	-0,77	-0,57	-1,5	-0,54
Efficience formation	0,7	0,24	-0,81	-1,91	-0,53	-1	0,77	0,57	1,5	0,54

ANNEXE 14 : Résultats AttrakDiff

Item	Paire de mots	TF05	IL07	CL78	SL81	FLM05	MC92	PD67	TB87	BD88	CI97
QP1*	Humain / Technique	-2	1	0	-2	-2	-1	-1	-1	1	2
QP2*	Simple / Compliqué	1	1	1	-1	1	1	2	2	2	3
QP3*	Pratique / Pas pratique	2	1	3	2	2	2	3	2	2	3
QP4	Fastidieux / Efficace	1	1	3	3	3	2	3	3	1	3
QP5*	Prévisible / Imprévisible	3	1	3	0	2	1	1	0	0	1
QP6	Confus / Clair	-1	0	3	1	2	3	2	3	2	3
QP7	Incontrôlable / Maîtrisable	3	1	1	1	2	2	2	3	3	3

Item	**Paire de mots**	**TF05**	**IL07**	**CL78**	**SL81**	**FLM05**	**MC92**	**PD67**	**TB87**	**BD88**	**CI97**
QHS1*	Original / Conventionnel	-3	1	3	0	-2	-2	3	1	0	0
QHS2	Sans imagination / Créatif	-2	1	3	2	0	1	3	1	2	3
QHS3*	Audacieux / Prudent	-3	1	3	0	0	1	1	-1	-2	1
QHS4*	Novateur / Conservateur	-3	0	3	1	-2	0	2	0	-1	-2
QHS5	Ennuyeux / Captivant	-3	1	3	3	1	1	2	1	1	3
QHS6	Peu exigeant / Challenging	-3	0	3	2	1	0	2	1	-1	1
QHS7*	Nouveau / Commun	-3	1	3	0	-2	1	2	0	0	2

Item	Paire de mots	TF05	IL07	CL78	SL81	FLM05	MC92	PD67	TB87	BD88	CI97
QHI1	M'isole / Me sociabilise	-1	1	3	2	0	0	2	2	0	3
QHI2*	Professionnel / Amateur	2	0	3	2	1	2	3	3	3	3
QHI3*	De bon goût / De mauvais goût	1	1	3	3	1	2	3	3	2	3
QHI4	Bas de gamme / Haut de gamme	0	-1	3	2	2	0	3	1	2	-3
QHI5	M'exclut / M'intègre	1	1	3	3	3	0	3	2	1	3
QHI6*	Me rapproche / Me sépare	0	1	3	2	0	0	0	-2	0	3
QHI7	Non présentable / Présentable	2	1	3	1	2	3	3	3	2	3

Item	Paire de mots	TF05	IL07	CL78	SL81	FLM05	MC92	PD67	TB87	BD88	CI97
ATT1*	Plaisant / Déplaisant	1	1	3	3	2	2	2	3	2	3
ATT2	Laid / Beau	0	1	3	0	2	2	2	1	2	3
ATT3*	Agréable / Désagréable	-1	1	3	1	2	2	2	2	2	3
ATT4	Rebutant / Attirant	-2	1	3	2	2	2	2	2	2	3
ATT5*	Bon / Mauvais	2	1	3	3	3	3	3	3	2	3
ATT6	Repoussant / Attrayant	-1	1	3	1	1	2	2	2	2	3
ATT7*	Motivant / Décourageant	-1	1	3	1	2	2	2	1	2	3

Item	QP1*	QP2*	QP3*	QP4	QP5*	QP6	QP7	MOYENNE QP
Mots	Humain / Tech	Simple / Cplq	Pratique / Pas P.	Fastid. / Efficace	Prévis. / Imprévis.	Confus / Clair	Incontr. / Maîtris.	
Moyenne	-0,5	1,3	2,2	2,3	1,2	1.8	2.1	**1,49**

Item	QHS1*	QHS2*	QHS3	QHS4	QHS5	QHS6	QHS7*	MOYENNE QHS
Mots	Original / Conv.	S. Imag. / Créatif	Audac. / Prudent	Novat. / Conserv.	Ennuy. / Captiv.	P. Exig. / Challeng.	Nouv. / Commun	
Moyenne	0,1	1,4	0,1	-0,2	1,3	0,6	0,4	**0,53**

Item	QHI1	QHI2*	QHI3*	QHI4	QHI5	QHI6*	QHI7	MOYENNE QHI
Mots	M'isole / Sociab.	Prof. / Amateur	B. Goût / M. Goût	Bas / Haut Gamme	M'exclut / Intègre	Rappro. / Sépare	N. Prés. / Présent.	
Moyenne	1,2	2,2	2,2	0,9	2	0,7	2,3	**1,64**

Item	ATT1*	ATT2	ATT3*	ATT4	ATT5*	ATT6	ATT7*	MOYENNE ATT
Mots	Plais. / Déplais.	Laid / Beau	Agr. / Désagréable	Rebut. / Attirant	Bon / Mauvais	Repous. / Attray.	Motiv. / Décour.	
Moyenne	2,2	1,6	1,7	1,7	2,6	1,6	1,6	**1,86**

BIBLIOGRAPHIE

Abi-Rached, J. M. & Rose, N. (2014). Historiciser les neurosciences. In B. Chamak, *Neurosciences et société* (pp. 51–77). Presses Universitaires de France.

Adelman, G. (2010). The Neurosciences Research Program at MIT and the Beginning of the Modern Field of Neuroscience. *Journal of the History of the Neurosciences*, *19*(1), 15-23. https://doi.org/10.1080/09647040902720651

Allen, M. W. (avec Sites, R.). (2012). *Leaving Addie for SAM: An Agile Model for Developing the Best Learning Experiences*. Association for Talent Development.

Atkinson, R.C. and Shiffrin, R.M. (1968) Human Memory: A Proposed System and Its Control Processes. Psychology of Learning and Motivation, 2, 89-195. https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60422-3

Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, *4*(11), 417-423. DOI: 10.1016/s1364-6613(00)01538-2

Baddeley, A. (1992). Working Memory. Science, 255(5044), 556-559.

Bastien, J. M. C., & Tricot, A. (2008). L'évaluation ergonomique des documents électroniques. In A. Chevalier & A. Tricot (Eds.). *Ergonomie des documents électroniques* (pp. 205-227). Paris : PUF. DOI : 10.3917/puf.cheva.2008.02.0205

Bear, M. F., Connors, B. W. & Paradiso, M. A. (2016). *Neurosciences : À la découverte du cerveau* (4e éd.) (A. Nieoullon, Trad.). Pradel.

Berklee Online. (2026). *Online music courses, certificates, and degrees*. https://online.berklee.edu/

Bjork, E. L., & Bjork, R. A. (2011). Making things hard on yourself, but in a good way: Creating desirable difficulties to enhance learning. In M. A. Gernsbacher, R. W. Pew, L. M. Hough, & J. R. Pomerantz (Eds.), Psychology and the real world: Essays illustrating fundamental contributions to society (pp. 56–64)

Brown, P. C., Roediger, H. L., III & McDaniel, M. A. (2014). *Make it stick: The science of successful learning*. Belknap Press.

Brunken, R. , Plass, J. L. & Leutner, D. (2003). Direct measurement of cognitive load in multimédia learning. *Educational Psychologist,* 38(1), 53-61. http://dx.doi.org/10.1207/S15326985EP3801_7

Centre national de la musique. (2026, 18 février). *Formations - Le CNM : Centre national de la musique*. Le CNM : Centre National de la Musique. https://cnm.fr/formations/

Chabris, C. & Simons, D. J. (2010). *The invisible gorilla: And other ways our intuition deceives us*. HarperCollins.

Cherry, E. C. (1953). Some experiments on the recognition of speech, with one and with two ears. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *25*(5), 975–979.

Conservatoire Augmenté. (2024). Bienvenue au conservatoire augmenté. https://conservatoireaugmente.com/

Conservatoire National Supérieur de Musique et de Danse de Paris. (2024). *Missions*. https://www.conservatoiredeparis.fr/fr/ecole/le-conservatoire/missions

Conservatoire National Supérieur de Musique et de Danse de Paris. (2022, 12 décembre). *Renouvellement d'Émilie Delorme à la direction du Conservatoire national supérieur de musique et de danse de Paris*. https://www.conservatoiredeparis.fr/fr/actualites/renouvellement-demilie-delorme-la-direction-du-conservatoire-national-superieur-de-musique-et-de-danse-de-paris-0

Décret n° 2009-201 du 18 février 2009 portant statut des conservatoires nationaux supérieurs de musique et de danse de Paris et de Lyon. (2009, 18 février). Journal officiel de la République française. https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000020284141

de Ribaupierre, A. (2015). Pourquoi faut-il étudier la variabilité intra-individuelle lorsqu'on s'intéresse au développement cognitif ? In J. Juhel & G. Rouxel (Éds.), *Différences et variabilités en psychologie* (p. 159‑178). Presses universitaires de Rennes. https://doi.org/10.4000/books.pur.61595

Dehaene, S. (2018). *Apprendre ! Les talents du cerveau, le défi des machine*s. Odile Jacob.

Duff, K., Callister, C., Dennett, K., & Tometich, D. (2012). Practice Effects : A Unique Cognitive Variable. *The Clinical Neuropsychologist*, *26*(7), 1117‑1127. https://doi.org/10.1080/13854046.2012.722685

Elephorm. (2026). *Parcours de formation complets*. https://www.elephorm.com/parcours

Friston, K. J., & Friston, D. A. (2013). A Free Energy Formulation of Music Generation and Perception : Helmholtz Revisited. In R. Bader (Éd.), *Sound—Perception—Performance* (Vol. 1, p. 43‑69). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-00107-4_2

Gaser, C., & Schlaug, G. (2003). Brain Structures Differ between Musicians and Non-Musicians. *The Journal of Neuroscience*, *23*(27), 9240‑9245. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.23-27-09240.2003

GOBELINS Paris. (2020, 9 octobre). *Comment suivre une formation à distance (e-learning) avec GOBELINS Paris*. https://www.gobelins.fr/actualites/comment-suivre-une-formation-distance-e-learning-avec-gobelins-lecole-de-limage

Greenstreet, F., Vergara, H.M., Johansson, Y. *et al.* (2025) Dopaminergic action prediction errors serve as a value-free teaching signal. *Nature* 643, 1333–1342. https://doi.org/10.1038/s41586-025-09008-9

Hattie, J., & work(s):, H. T. R. (2007). The power of feedback. *Review of Educational Research*, *77*(1), 81-112. https://doi.org/10.3102/003465430298487

INA Campus. (2026). *Formations en ligne*. https://campus.ina.fr/formation/formations-en-ligne#listeformations

Institut du Cerveau. (2026). *La mémoire*. https://institutducerveau.org/

IRCAM. (2026). *Toutes les formations professionnelles*. https://www.ircam.fr/transmission/formations-professionnelles

Jeannerod, M. (2002). Les neurosciences à l'orée du xxie siècle. *Cairn.info*, *396*(4), 469-481. https://shs.cairn.info/revue-etudes-2002-4-page-469?lang=fr

Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P., & Sweller, J. (2003). *The Expertise Reversal Effect*.

Koepp, M. J., Gunn, R. N., Lawrence, A. D., Cunningham, V. J., Dagher, A., Jones, T., Brooks, D. J., Bench, C. J., & Grasby, P. M. (1998). Evidence for striatal dopamine release during a video game. *Nature*, *393*(6682), 266‑268. https://doi.org/10.1038/30498

Kosmyna, N., Hauptmann, E., Yuan, Y. T., Situ, J., Liao, X.-H., Beresnitzky, A. V., Braunstein, I. & Maes, P. (2026). *Your Brain on ChatGPT: Accumulation of cognitive debt when using an AI assistant for essay writing task* [Preprint, under review]. https://www.brainonllm.com/

Lafontaine, M. P., & Lippé, S. (2011). Le cortex préfrontal et le processus d'apprentissage : Caractérisation d'un rôle critique: *Revue de neuropsychologie*, *Volume 3*(4), 267-271. https://doi.org/10.1684/nrp.2011.0190

Lieury, A. (2020). *Manuel visuel de psychologie cognitive* (4e éd.). Dunod.

Lieury, A., & Calvez, F. (1986). Le double codage des dessins en fonction du temps de présentation et de l'ambiguïté. *L'année psychologique*, *86*(1), 45-61. https://doi.org/10.3406/psy.1986.29122

Lipnevich, A. A., & Panadero, E. (2021). A Review of Feedback Models and Theories : Descriptions, Definitions, and Conclusions. *Frontiers in Education*, *6*, 720195. https://doi.org/10.3389/feduc.2021.720195

Macefield, R. (2009). *How To Specify the Participant Group Size for Usability Studies : A Practitioner's Guide*. *5*(1).

Masson, S., Blanchette Sarrasin, J. (2015) *Neuromythes et enseignement : connaître les mythes sur le fonctionnement du cerveau pour mieux enseigner*. Le Réseau Edcan. https://www.edcan.ca/articles/neuromythes-et-enseignement/?lang=fr

Mayer, R. E (2020). *Multimedia Learning* (3e éd.). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781316941355

Mayer, R. E., & Moreno, R. (2003). Nine Ways to Reduce Cognitive Load in Multimedia Learning. *Educational Psychologist*, *38*(1), 43-52. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_6

Medjad, N., Gil, P., & Lacroix, P. (2017). *Neurolearning : Les neurosciences au service de la formation*. Eyrolles.

Naudé, J., Sarazin, M.X.B., Mondoloni, S. *et al.* (2024) Dopamine builds and reveals reward-associated latent behavioral attractors. *Nat Commun* 15, 9825. https://doi.org/10.1038/s41467-024-53976-x

Nielsen, J., & Landauer, T. K. (1993). A mathematical model of the finding of usability problems. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '93*, 206-213. https://doi.org/10.1145/169059.169166

Paas, F. G. W. C. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology, 84*(4), 429–434. https://doi.org/10.1037/0022-0663.84.4.429

Paas, F. G. W. C., & Van Merriënboer, J. J. G. (1993). The Efficiency of Instructional Conditions : An Approach to Combine Mental Effort and Performance Measures. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, *35*(4), 737-743. https://doi.org/10.1177/001872089303500412

Paas, F., Renkl, A. & Sweller, J. (2003) Cognitive load theory and instructional design: Recent developments. *Educational psychologist,* 38(1), 1-4. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_1

Panadero, E., & Lipnevich, A. A. (2022). A review of feedback models and typologies : Towards an integrative model of feedback elements. *Educational Research Review*, *35*, 100416. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2021.100416

Park, B., Plass, J. L., & Brünken, R. (2014). Cognitive and affective processes in multimedia learning. *Learning and Instruction*, *29*, 125-127. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2013.05.005

Petersen, S. E., & Posner, M. I. (2012). The Attention System of the Human Brain : 20 Years After. *Annual Review of Neuroscience*, *35*(1), 73-89. https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-062111-150525

QS TopUniversities. (2026). QS world university rankings for performing arts. https://www.topuniversities.com/university-subject-rankings/performing-arts

Rolland, B., Zimmer, L., Prunier, H., & Sescousse, G. (2025). Pas si paradoxal … Neurobiologie du trouble déficit de l'attention–hyperactivité (TDAH) et mode d'action thérapeutique des psychostimulants. Annales Médico-psychologiques, revue psychiatrique, 183(3), 323-327. https://doi.org/10.1016/j.amp.2024.09.002

Roques, N. (2023). Introduction au calcul de la taille d'effet globale d'une intervention dans les méta-analyses en sciences de l'éducation. *Mesure et évaluation en éducation*, *45*(3), 1-32. https://doi.org/10.7202/1106852ar

Rossi, J. (2018). *Neuropsychologie de la mémoire*. De Boeck Supérieur. https://doi.org/10.3917/dbu.rossi.2018.04

Royal Academy of Music. (s. d.). Global Conservatoire. https://www.rcm.ac.uk/study/globalconservatoire/

Royal Conservatoire of Scotland. (s. d.). Short courses for adults. https://www.rcs.ac.uk/study/short-courses/adults/

Salomé Cojean. Étayage des activités de recherche d'information et d'apprentissage en environnement vidéo : apports de la segmentation et de la structuration. Psychologie. Université Rennes 2, 2018. Français. ⟨NNT : 2018REN20038⟩. ⟨tel-01902650⟩

Shute, V. J. (2008). Focus on Formative Feedback. *Review of Educational Research*, *78*(1), 153-189. https://doi.org/10.3102/0034654307313795

Sperling, G. (1963). A model for visual memory tasks. *Human Factors*, *5*, 19–31. https://doi.org/10.1177/001872086300500103

Spool, J., & Schroeder, W. (s. d.). *Testing Web Sites : Five Users Is Nowhere Near Enough*.

The Juilliard School. (s. d.). About Juilliard Extension. https://www.juilliard.edu/stage-beyond/juilliard-extension/about-juilliard-extension

Tricot, A. (1998). Charge cognitive et apprentissage : une présentation des travaux de John Sweller. *Revue de Psychologie de l'Education*, 1, 37 - 64

Um, E. "Rachel", Plass, J. L., Hayward, E. O., & Homer, B. D. (2012). Emotional design in multimedia learning. *Journal of Educational Psychology*, *104*(2), 485-498. https://doi.org/10.1037/a0026609

Universität für Musik und darstellende Kunst Wien. (2026). https://www.mdw.ac.at/1989/

Van Dijk, A. (2024). *Réinventez vos formations avec les neurosciences*. https://doi.org/10.3917/esfsh.vandi.2019.01

Version française du questionnaire AttrakDiff. (2021, 2 mai). Carine Lallemand. https://uxmind.eu/portfolio/version-francaise-de-lattrakdiff/

Vidal, C. (2013). La plasticité cérébrale : Une révolution en neurobiologie: *Spirale*, *n° 63*(3), 17-22. https://doi.org/10.3917/spi.063.0017

Yau, J. O.-Y., & McNally, G. P. (2023). The Rescorla-Wagner model, prediction error, and fear learning. *Neurobiology of Learning and Memory*, *203*, 107799. https://doi.org/10.1016/j.nlm.2023.107799

Zhao, F., & Mayer, R. E. (2025). Improving Multimedia Learning With Emotional Design : Depicting Key Elements With Positive Features. *Journal of Computer Assisted Learning*, *41*(3), e70028. https://doi.org/10.1111/jcal.70028