



HAL
open science

Etudes des influences de musiques et d'odeurs sur les performances exécutives et les ressentis de performances d'adultes jeunes et âgé×e×s : Vers une approche personnalisée des environnements uni et multisensoriels

Roxane Bartoletti

► **To cite this version:**

Roxane Bartoletti. Etudes des influences de musiques et d'odeurs sur les performances exécutives et les ressentis de performances d'adultes jeunes et âgé×e×s : Vers une approche personnalisée des environnements uni et multisensoriels. Psychologie. Université Côte d'Azur, 2024. Français. NNT : 2024COAZ2014 . tel-04652376

HAL Id: tel-04652376

<https://theses.hal.science/tel-04652376>

Submitted on 18 Jul 2024

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

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

THÈSE DE DOCTORAT

Etudes des influences de musiques et
d'odeurs sur les performances exécutives et
les ressentis de performances d'adultes
jeunes et âgé·e·s

Vers une approche personnalisée des environnements
uni et multisensoriels

Roxane L. BARTOLETTI

Laboratoire d'Anthropologie et de Psychologie Cliniques, Cognitives et Sociales (**LAPCOS**)

Présentée en vue de l'obtention
du grade de **Docteur en Psychologie**

Co-dirigée par : **Xavier Corveleyn**, MCF HDR,
& **Dirk Steiner**, PU

Soutenue le 17 Mai 2024

Devant le jury composé de :

Renaud Brochard, PU, Université de Bourgogne

Jane Plailly, CR CNRS, Université Lyon 1

Virginie Postal-Le Dorse, PU, Université de Bordeaux

Membres invités : **Serge Antonczak**, PU, & **Martine**

Adrian-Scotto, MCF, Université Côte d'Azur

Etudes des influences de musiques et d'odeurs sur les performances exécutives et les ressentis de performances d'adultes jeunes et âgé·e·s

Vers une approche personnalisée des environnements
uni et multisensoriels

Rapporteur·e·s :

Renaud Brochard, Professeur des Universités, Université de Bourgogne
Virginie Postal-Le Dorse, Professeure des Universités, Université de
Bordeaux (présidente du jury)

Examinatrice :

Jane Plailly, Chargée de Recherche CNRS, Université Lyon 1

Membres invités :

Serge Antonczak, Professeur des Universités, Université Côte d'Azur
Martine Adrian-Scotto, Maîtresse de Conférences, Université Côte d'Azur

Résumé

Ecouter de la musique en travaillant, et diffuser des odeurs pour favoriser l'immersion dans une ambiance studieuse sont des comportements fréquents. Pourtant, l'influence de ces stimuli sur les ressentis de performances et les performances cognitives est encore en discussion dans la communauté scientifique. Cette absence de consensus pourrait être expliquée par l'aspect plurifactoriel des environnements multisensoriels, mais également par une méconnaissance des habitudes sensorielles d'adultes d'âges différents. Cette thèse tente de répondre à ces objectifs par le biais de 5 études expérimentales. Les habitudes musicales et olfactives pour se concentrer des adultes jeunes et âgé·e·s ont été caractérisées dans les 2 premières études, avec des différences (fréquence de diffusion, matériel utilisé, etc.) et des similitudes observées (genres musicaux et types d'odeurs préférés, etc.). Une 3^{ème} étude a mis en avant des correspondances affectives entre des stimuli sensoriels olfactifs et musicaux par les adultes jeunes et âgé·e·s. Ainsi, des listes de musiques et d'odorants catégorisés en fonction de l'agréabilité, de l'intensité, de la familiarité, et de la favorabilité à se concentrer ont été obtenues. Une 4^{ème} étude a permis de valider 6 formes alternatives de la PGNG (une tâche évaluant les fonctions exécutives) mobilisant les fonctions exécutives et la vitesse de traitement de l'information, et utilisées dans l'étude 5. Enfin, la 5^{ème} étude montre que la favorabilité perçue et la personnalisation des environnements sensoriels amélioraient les performances subjectives (motivation, sentiment de compétence, concentration, etc.) et objectives (précision et variabilité des temps de réponses) des participant·e·s. L'ensemble de ces études contribue à une meilleure compréhension de l'influence des environnements sensoriels sur nos performances exécutives, et contribue à la réflexion de l'importance de la personnalisation des stimuli sensoriels dans le cadre de la performance cognitive.

Mots clés : fonctions exécutives ; musiques ; odeurs ; performances cognitives ; ressentis de performances ; personnalisation ; vieillissement ; environnements multisensoriels.

Abstract

Listening to music while working and diffusing scents to encourage immersion in a studious atmosphere are common behaviors. However, the influence of these stimuli on perceived and cognitive performance is still debated among researchers. This lack of consensus could be explained by the multi-factorial aspects of multisensory environments, but also by a lack of knowledge of the sensory habits of adults of different ages. This thesis attempts to give new insights into these knowledge gaps through 5 experimental studies. The musical and olfactory habits when concentrating of young and older adults were characterized in the 1st and 2nd studies, and differences (frequency of diffusion, equipment used, etc.) and similarities (preferred musical genres and types of odors, etc.) were observed. The 3rd study highlighted affective correspondences between olfactory and musical sensory stimuli among young and older adults. Thus, lists of music and olfactory molecules categorized according to pleasantness, intensity, familiarity, and favorability to concentration were obtained. The 4th study validated 6 alternative forms of the *Parametric Go/No-Go* task mobilizing executive functions and information processing speed that were used in the final study. Finally, the 5th study showed that perceived favorability and personalization of sensory environments improved participants' subjective and objective performances, but only on certain variables. Taken together, these studies contribute to a better understanding of the influence of sensory environments on our executive performances, and to the development of personalizing sensory stimuli in the context of cognitive performance.

Keywords: Executive functioning, music, odors, cognitive performances, subjective performances, personalization, elderly, multisensory environments.

*Aux évaporées, aux carapaces fendues, aux acharnées.
Aux vertus des luttes et aux déraisonnables passions,
Aux baisers révolutionnaires en haut des ponts verts,
Et à ceux échappés sur le pas d'une porte.*

*À nos lâcher-prises et ce qu'il en reste :
Des fantômes, des mirages, des vertiges,
Et des frissons.*

Remerciements

De son commencement à sa fin, ce travail de thèse a été rendu possible par le soutien inconditionnel de celles et ceux qui m'ont entourée, réchauffée, nourrie, apaisée, stimulée, soutenue, aimée. Plus qu'une thèse pour l'obtention d'un doctorat, ce document marque une étape importante dans ma vie. Cette étape de vie restera imprégnée de nombreux moments, et je tiens à remercier certaines personnes qui habiteront pour toujours ces souvenirs.

Tout d'abord un grand merci officiel et chaleureux aux membres de mon jury pour avoir accepté de donner de leur temps et de leur énergie pour l'évaluation de mon travail de thèse. Je remercie Professeur Renaud Brochard et Professeure Virginie Postal-Le Dorse pour avoir accepté de lire et d'évaluer mon manuscrit de thèse, et à Jane Plailly pour avoir accepté de faire partie de mon jury de soutenance. C'est une chance et un honneur pour moi d'avoir l'opportunité d'échanger avec vous sur mon travail de recherche, contribuant ainsi à mon développement et perfectionnement scientifique.

Je remercie mes co-directeurs de thèse Dirk Steiner et Xavier Corveleyn. Dirk, merci pour ton accompagnement et ton soutien dès la conception de mon projet de thèse. Merci pour avoir dirigé le LAPCOS avec Isabelle durant de nombreuses années en veillant à ce que les valeurs d'entraide et d'ouverture perdurent. Merci pour les rires, pour les relectures et les conseils, et pour ta grande patience.

Xavier ... Master 1, Master 2 Recherche, Master 2 Clinique, et Doctorat. Huit ans que nous nous connaissons. « *Jetez-la par la porte, elle reviendra par la fenêtre* », tu le disais en riant et c'est vrai, je persistais dans mon choix. Tu te pensais trop peu aguerri, trop fraîchement arrivé à ton poste de MCF. Et pourtant, je voyais en toi toutes les qualités humaines et professionnelles nécessaires pour débiter mon aventure de thèse. Huit années durant lesquelles

tu m'as suivie et guidée pour faire aboutir mes projets de recherche, mes idées un peu farfelues si ce n'est pharaoniques. J'ai construit mon projet universitaire et professionnel avec toi, et je me sens si chanceuse et honorée d'avoir ta confiance et ta considération. Tu as cru en moi et tu m'as guidée vers le meilleur. Au-delà du travail, tu as aussi été là pour me soutenir dans de nombreux moments. Merci pour ton écoute, pour tes paroles et tes actes. Nous avons traversé de nombreux moments de joie, et d'autres moments difficiles où la vie reprend le bonheur qu'elle avait pu nous offrir, où nos bras nous semblent bien trop frêles pour retenir le ciel tempétueux qui s'abat sur nos têtes. Dans ces moments, nous avons toujours privilégié une communication sincère et bienveillante, je t'ai toujours reçu 5 sur 5. Je me suis toujours sentie en sécurité et comprise. Nous partageons librement les faits et les ressentis, car nous étions assez clairvoyant·e·s pour savoir qu'avant d'être des scientifiques, nous sommes des humains. J'ai été aussi authentique que vulnérable, et tu m'as fait le plus beau cadeau possible : l'accueil inconditionnel. En écrivant ces lignes, tu imagines bien que quelques larmes m'échappent ... Elles sont remplies d'un soulagement infini et d'une reconnaissance solaire, car j'ai eu la chance de cheminer avec toi à côté. Alors merci Xavier, pour être la personne que tu es, pour notre complicité, pour notre amitié. Tu pourras toujours compter sur moi, où que je sois.

Un grand merci aux chercheur·e·s qui m'ont soutenue dans mon projet. Merci à Serge Antonczak et Martine Adrian-Scotto de l'Institut de Chimie de Nice qui m'ont suivie et apporté leur aide dans mon aventure doctorale. Ce travail est le fruit d'une belle collaboration entre psychologie et chimie. Ambre Denis Noël, je ne te remercierai jamais assez pour ton travail de génie du codage et ta grande patience. Sans toi, tout ceci n'aurait pas pu se faire. Et le pire : pas d'orange Arte dans les figures, c'est tout juste impensable. Je te remercie aussi pour m'avoir initiée aux plaisirs de la bière artisanale, c'est impossible de revenir en arrière maintenant. Merci à François Quesque pour notre rencontre il y a quelques années à Lyon, pour avoir été un des premiers chercheurs à me guider dans mes réflexions scientifiques et le développement

de mes idées. Merci à Stephen Ramanoel, pour tes conseils, pour nos discussions et pour avoir fait le tour de Lille lors du vol de mon ordinateur de thèse (et de tout mon sac, ce fut un désarroi total). Je remercie Cyril Forestier pour nos échanges, notre collaboration, pour les memes et les précieux conseils scientifiques et sportifs. Merci aux membres de mon Conseil de Suivi de Thèse, Edith Galy et Arnaud Halloy, pour nos rendez-vous annuels et leurs conseils avisés. Merci à Moustafa Bensafi pour la dispense de son cours sur l'olfaction en Master 2 Recherche en Neuropsychologie et Neurosciences Cliniques, un cours qui a éveillé ma passion pour ce domaine de recherche.

Merci à l'équipe Lilloise du laboratoire SCALab pour m'avoir accueillie et formée durant mon doctorat. Mille mercis à Yvonne Delevoeye, Ségolène Guérin, Victor Brossard et au reste de l'équipe FATAAL, vous êtes géniaux et j'espère bien retrinquer avec vous, au Nord ou au Sud.

Au personnel de la Maison des Sciences Humaines et Sociales Sud-Est qui m'a aidée bien plus d'une fois, un merci spécial à Jean-Charles Briquet Laugier. Un énorme MERCI à M. Martin de la Direction des Système d'Information pour avoir redoublé d'effort, sous le joug de ma panique autoritaire, le jour où un BitLocker non désiré a bien failli condamner toutes mes données de recherche (encore un autre désarroi de taille).

Le LAPCOS ne serait pas le LAPCOS sans ses Lapcossien-ne-s. Merci à ses piliers, l'insubmersible Mère Milhabet, pour tes rires, pour nos discussions et débats, pour ton authenticité, pour ta si profonde générosité. À toi, pour qui le bonheur est dans la lutte, tu me donnes la force pour devenir meilleure et redoubler d'effort, on ne se laisse jamais abattre. Pierre, pour tes paris perdus et leurs conséquences qu'il te tarde d'honorer, pour les Scrabbles, pour être cette boîte à bruits qui ne tient pas en place, pour nos rires et nos danses (ivres) sur Shakira, Lady Gaga, Britney et Beyoncé. À Jennifer, à Sylvane et les autres pour leur

dévouement à la recherche et à la formation des étudiant-e-s, pour leurs engagements universitaires et militants. Un merci chaleureux pour les moments festifs non-universitaires, parfois complètement déjantés, déguisés, et improbables.

Aux animaux de la salle 302. Car vivre avec vous dans ce bureau ouvert m'a apporté tellement de joies, quelques peines et colères aussi. Je garde près de moi la beauté et l'importance de tous ces moments. À Dayle, Dell, M. David, Dale, Doule, Doug, Douk, D', G' pour ses formes les plus obscures. Mon Dale avec qui j'ai commencé cette aventure et avec qui j'ai fait mon meilleur karaoké, Dale le colibri tout droit sorti d'un épisode d'Addams Family dont la résilience m'a donné des leçons. À Fanny, le rayon de soleil à hautes fréquences audibles, pour m'avoir tenu les cheveux, pour tes petites chaussures, pour ta force de caractère incroyable et tes revanches sur la vie, pour ta sensibilité, pour tes mots doux déposés sur quelques morceaux de papier. À Clément, ce ficus cordon bleu aux manifestations internes nombreuses, à nos festins, à nos appétits repus, à nos citrons chauds devant Arte, merci pour les meilleurs bretzels cuisinés ensemble, pour les Manneles claqués qui n'ont jamais rien marché. À Karine, dont la générosité touche en plein cœur, pour m'avoir accueillie plus d'une fois et bercée par des chuchukas merveilleuses et salvatrices. À Claudette Tabouret Baudelaire connue sous la fausse identité de Paul, le Goth amphibien, pour m'avoir montré le chemin, pour la bouée jaune qui tanguait nettement moins que toi sur ton scooter. À Vassia, pour sa douceur et sa bonne humeur. À Sara pour sa générosité et son franc parlé. À Vincent pour son rire, son sourire, sa franchise et ses histoires de matchs. Merci à Romain, pour sa confiance, pour les rires et les beaux souvenirs. Aux nouveaux et nouvelles, Marie et Pierre-Yves qui se lancent dans l'aventure doctorale, et qui sont la relève. Merci à Abdias, à Adrien, à Victor, et à Camille aka Caminge, Estelle aka Estinge, Julie aka Julinge, et Marion aka Maringe, mes quatre petites sœurs de thèse à qui je souhaite une bonne route (sachez que je reste l'aînée **et** la préférée).

Merci à Séraphin, Roman et Marie, ancien·ne·s étudiant·e·s devenu·e·s psychologues, pour votre confiance, pour avoir fourni un travail d'une très grande qualité. Merci pour votre courage, pour votre détermination à faire valoir ce qui est juste et moral dans notre monde académique et professionnel.

Aux étudiant·e·s de Licence et de Master, encadré·e·s en mémoire ou non, auprès de qui je suis intervenue pour dispenser des cours. Merci pour vos questions, votre patience, votre intérêt et vos retours. Je vous souhaite une bonne continuation et de belles réussites.

Merci à mes ami·e·s de toujours, ces personnes formidables qui rendent la vie si belle, si douce et tellement plus légère. À Anaïs la gueuse, Bacchilove, Julie, Evanounette, Alexia, Jenna, Louis, Maxime², Vincent. À celles qui ont la double casquette d'amie et chercheuse, Séphora, Audrey, Katelyne, Sarah. Aux boulets de canons du Roller Derby de Nice, pour votre douce folie, pour les rires, pour les bleus, pour les verres, pour la confiance, pour l'amitié et pour l'amour. Merci de faire partie de ma vie. Merci à Cassandra, pour ses beaux yeux croisés au foot et durant la vie nocturne, car je n'ai qu'une parole, ma promesse (ivre) est ici tenue.

Merci à ma famille pour sa patience infinie et pour son amour. Merci à mes parents, Erica et Frédéric, pour avoir élevé deux cloportes. Pour m'avoir aidée dans toutes mes galères, relativement nombreuses. Je sais que je ne suis pas la plus docile, il m'est très dur d'exprimer oralement que je vous aime en toutes circonstances, alors je le fais ici. Merci à mon grand frère, Raphaël Petit-Pied-Michaël-Jackson, pour la personne généreuse et conciliante que tu es. Pour nos références éternelles, « ♪ Moooi, je suis ... ♪ », je suis si fière d'être ta sœur. À Inès, pour être une belle-sœur géniale, tu es aussi ma famille et j'en suis si heureuse. À ma nièce, Liv, petite merveille qui arrive dans nos vies, je la remercie d'être l'humain qu'elle va devenir, qui peut être lira un jour ces lignes : je m'engage à veiller sur toi, à faire les meilleures bêtises avec toi. Si tu savais comme j'ai hâte de te rencontrer, d'apprendre à te connaître, de redécouvrir le

monde avec toi. Je t'aime déjà si fort. Merci à Fabienne, ma tante, pour ta gentillesse et tes rhums arrangés. Merci à Mauro, mio nonno, et à Babeth. Merci à Nicolas, pour notre belle complicité. À toi Romain, sois sage, puisses-tu découvrir et comprendre la belle diversité du monde, et accueillir tout ce qu'elle a à t'offrir. Merci à toute ma famille. Merci à Tom et à Auriane, pour leur ouverture qui m'a permis de voir plus loin et de vivre mieux.

À mes deux grand-mères que j'aurais voulu embrasser et serrer dans mes bras, que j'imaginai, au début de mon aventure de thèse, assises aux premières loges le jour de ma soutenance. Que j'aurais voulu rendre fières. À toi mémé, Claudie, ta douceur restera à jamais dans mes souvenirs. À toi mamie, Marie-Louise, pour ta force de caractère, pour tout ce que tu nous as donné. Tant que ma mémoire me le permettra et grâce aux odeurs de savon, de parfum et de cuisine, grâce aux objets laissés derrière vous, je ferai discrètement revivre en moi quelques morceaux de vous, pour revoir vos sourires et vous réentendre m'appeler, comme s'il me suffisait de me retourner.

Je tiens à remercier toutes les personnes ayant participé aux 6 études (RHI, OHC, MHC, MOCC, PGNG & POM) qui ont été menées durant cette thèse, notamment les 1432 personnes dont les données ont permis la construction de la totalité de mes travaux de recherche, sans qu'aucun travail n'aurait pu être soutenu ou publié. Votre curiosité est si précieuse, mille-quatre-cent-trente-deux mercis/thank you.

Mes remerciements sincères à toutes celles et ceux que j'ai oublié ici de nommer.

Enfin, à ces femmes scientifiques, philosophes, artistes, étudiantes, politiciennes, journalistes, sportives d'hier qui nous ont donné un héritage incommensurable, et d'aujourd'hui, qui luttent, créent, contribuent à l'élaboration de sociétés humanistes, inclusives, progressistes. Dont la rébellion leur a, pour certaines, coûté la vie. Dont les noms sont trop peu

honorés et les réalisations, si souvent tués et spoliés. Leur ténacité et leur créativité m'inspirent. Alors voici quelques noms que je tiens ici à honorer : Lili Pankotai, Saphia Aït Ouarabi, Matilda Joslyn Gage, Margaret Rossiter, Jessica Wade, Eva Thomas, Anna Politkovskaïa, Rosa Bonheur, Marie Skłodowska-Curie, Jocelyn Bell Burnell, Irène Billard aka Irène Dresel, Adèle Haenel, Megan Rapinoe, Maria Goeppert-Mayer, Tove Jansson, Marie Docher, Rosalind Franklin, Joan Nestle, Mahsa Amini, Marthe Gautier, Ayesha Malik, Golriz Ghahraman, Simone Biles, Rose Valland, Katherine Johnson, Marsha P. Johnson, Mileva Einstein, Alice Coffin & Yuri aka Silvia Casalino, Mary Jackson, Monique Wittig, Maryam Mirzakhani, Chelsea Manning, Dorothy Vaughan, Rita Levi-Montalcini, Céline Sciamma... Il y en a tant d'autres, les anonymes, et celles qui me sont inconnues. Merci pour tout ce que vous donnez ou avez donné au monde, pour votre détermination.

Merci, à celles qui suivront.

Publications scientifiques

Publications dans des revues ACL (3)

Bartoletti, R. L., Denis-Noël, A., Boulvert, S., Lopez, M., Faure, S. & Corveleyn, X. (2023). Visuo-Tactile Congruence Leads to Stronger Illusion Than Visuo-Proprioceptive Congruence, a Quantitative and a Qualitative Approach to Explore the Rubber Hand Illusion. *Multisensory Research*. <https://doi.org/10.1163/22134808-bja10101> (Q3 ; IF : 2,352)

Forestier, C., de Chanaleilles, M., Bartoletti, R. L., Cheval, B., Chalabaev, A., & Deschamps, T. (2023). Are trait selfcontrol and self-control resources mediators of relations between executive functions and health behaviors? *Psychology of Sport & Exercise*. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2023.102410> (Q1 ; IF : 5,118)

Bartoletti, R. L., Faure, S. & Corveleyn, X. (2019). L'expérience subjective de la "Rubber Hand Illusion" : vers une meilleure compréhension de l'altérations des représentations corporelles dans las chizophrénie". *French Journal of Psychiatry*, 1, S120. ;

Communications orales, séminaires, colloques et congrès scientifiques nationaux et internationaux (11)

Bartoletti, R. L., Adrian-Scotto, M., Antonczak, S., Steiner, D. & Corveleyn, X. (2023). *Etudes de l'influence d'environnements olfacto-auditifs sur les fonctions exécutives d'adultes jeunes et âgés*. Journée Arômes Parfums. Institut de Chimie de Nice, Nice, France.

Andrieu, C., Bartoletti, R. L., Milhabet, I. & Dirk, S. (2023). *Déficits individuels induits par des situations répétées d'échec : implications pour les « chômeurs » et leur stigmatisation*. AIPTLF2023. 22e congrès de l'Association internationale de psychologie du travail de langue française, Montréal, Canada.

Bartoletti, R. L., Adrian-Scotto, M., Antonczak, S., Steiner, D. & Corveleyn, X. (2022). *Influences of music and smells on young and older adults' executive functions*. Réunion annuelle du GDR O3. GDR O3, Paris, France.

Bartoletti, R. L., Adrian-Scotto, M., Antonczak, S., Steiner, D. & Corveleyn, X. (2022). *Environnements olfacto-auditifs et vieillissement démographique, quels enjeux pour les adultes jeunes et âgés d'aujourd'hui et de demain ?* Colloque Jeunes Chercheurs, Création-Recherche en Olfaction : pratiques et métiers en mutations. Acte 1. Sommes-nous manipulés par les senteurs ou est-ce nous qui les manipulons ? LARA-SEPPIA, Toulouse, France.

Bartoletti, R. L., Faure, S., Corveleyn, X., (2021). « *Croisons les doigts !* » : augmentation de la saillance des informations proprioceptives dans le paradigme de la RHI. Rencontres Jeunes Chercheurs, session "Corps & Espace". LPNC, Grenoble, France.

Adrian-Scotto M., Antonczak S., Corveleyn X., Bartoletti R. L., Steiner D. (2021). *ODOJAZZ : quand les parfums se mêlent à la musique*. Semaine du Son de l'UNESCO. Nice, France.

Bartoletti, R. L., Adrian-Scotto, M., Antonczak, S., Steiner, D. & Corveleyn, X. (2021). *Favorabilité des odorants et des musiques pour la performance cognitive des adultes jeunes et âgés*. LAPCOS, Nice, France.

Bartoletti, R. L., Adrian-Scotto, M., Antonczak, S., Steiner, D. & Corveleyn, X. (2021). *Comprendre l'enjeu de la personnalisation des environnements olfacto-auditifs pour l'amélioration ou le maintien des performances exécutives des adultes jeunes et âgés, une approche liant contextes, affects, émotions et cognition*. Séminaire Orthophoniste EU12, Nice, France.

Bartoletti, R. L., Adrian-Scotto, M., Antonczak, S., Steiner, D. & Corveleyn, X. (2020). *POM : étude de l'intégration olfacto-auditive sur les performances exécutives d'adultes jeunes et âgés*. Séminaire des Doctorant.e.s, Format MT180. LAPCOS, Nice, France.

Adrian-Scotto, M., Antonczak, S., Corveleyn, X., Bartoletti, R. L. & Steiner, D. (2021). *ODOJAZZ : une expérience de perception multimodale*. Journée d'étude : Le parfum, un matériau pour la création en design. Toulouse, France.

Bartoletti, R. L., Corveleyn, X. (2019). *L'impact des traces tactiles et proprioceptives dans la construction de l'image du corps*. 60ème Congrès de la Société Française de Psychologie à Poitiers, Symposium invité (public). Poitiers, France.

Communications affichées avec Comité de sélection (4)

Bartoletti, R. L., Michel, V.-A., Andrieu, C. F., Denis-Noël, A., Adrian Scotto, M., Antonczak, S., Steiner, D., Corveleyn, X. *What does your favorite work environment smell like? The influence of age on daily habits related to odors and concentration in adults, and on the perceived olfactory characteristics of stimuli*. (2023). Odeuropa Smell Culture Fair (public). Amsterdam, Pays-Bas.

Bartoletti, R. L., Denis-Noël, A., Adrian Scotto, M., Antonczak, S., Steiner, D., Corveleyn, X. *How could background music and odors optimize young and older adults' cognitive performances?* (2022). 22nd Conference of the European Society for Cognitive Psychology (ESCOP, public). Lille, France.

Bartoletti, R. L., Adrian Scotto, M., Antonczak, S., Steiner, D., Corveleyn, X. *Influences of Smells and Music on Young and Older Adults Cognitive Performances Proposal of a Multisensory Design*. (2021). Inauguration de l'Institut NeuroMod à l'occasion de la Semaine du Cerveau (public). Salle virtuelle de posters, France.

Bartoletti, R. L. & Corveleyn, X. (2019). *L'expérience subjective de la « Rubber Hand Illusion » : vers une meilleure compréhension de l'altération des représentations corporelles dans la schizophrénie*. 11ème édition du Congrès de Psychiatrie Française (CPF, public avec acte de colloque publié dans une revue ACL). Nice, France.

Médiation scientifique

Articles de médiation scientifique (1)

Bartoletti, R. L., Guérin, S. M., Corveleyn, X., Delevoye, Y. (2021). *Quelle musique choisir pour faire du sport ou travailler ?* The Conversation France. <https://theconversation.com/quelle-musique-choisir-pour-faire-du-sport-ou-travailler-163783>

Podcasts (2)

Bartoletti, R. L., Boulvert, S., Lopez, M., Corveleyn, X., Leveaux, S. (2023). Les illusions pour étudier notre sentiment de propriété corporelle : la Rubber Hand Illusion. Milgram de Savoirs. <https://milgram.ulb.be/100g/episodes-100g/rubberhand-illusion/>

Bartoletti, R. L., Corveleyn, X., Leveaux, S. (2022). Musique, odeur : peut-on augmenter notre concentration en modifiant notre environnement sensoriel ?. Milgram de Savoirs. <https://milgram.ulb.be/100g/episodes-100g/ecouter-de-lamusique-ou-diffuser-des-odorants-pour-travailler-peut-on-augmenter-notre-concentration-en-modifiant-notreenvironnement-sensoriel/>

Interviews avec journalistes (5)

Femmes Magazine "Parfums : les mystères de notre nez", Dossier beauté, Luxembourg, Juin 2023, article de presse <https://www.femmesmagazine.lu/parfums-les-mysteres-de-notre-nez/>
Fleurus Presse "Comment ça marche ?", N°147, "Comment la musique agit sur notre cerveau", p. 29, Mars 2023.

Radio Nova, 12 Jan. 2023, interview retransmise au 17h/19h du 13 Janvier 2023.

Nez la revue, 1 Dec. 2022, article de presse <https://mag.bynez.com/science/roxane-bartoletti-doctorante-lier-odorat-et-musique-est-apparu-comme-une-evidence/>

Air Zen Radio, 21 Nov. 2022, format podcast <https://www.airzen.fr/quel-role-jouent-nos-sens-sur-nos-capacites-cognitives/>

Evènements grand public (3)

MT180s 2023, Nice, France.

Festival des Sciences 2021, stand CoCoLab aux Jardins Albert 1er, Nice, France.

La Nuit Européenne de la Recherche 2021 au Parc de Valrose, Nice, France.

Projets Arts & Sciences (1)

AOP, l'Odeur de l'Apparition depuis 2022, soutenu par l'EUR CREATES, programme « Projets émergents, innovation, incubation », <https://oap.7ma.eu/projet/>

Table des matières

Liste des abréviations	1
Avant-propos	3
Cadre théorique	5
Chapitre 1 : Fonctions exécutives, vieillissement et performances	5
1.1 Fonctions exécutives	5
<i>Définitions et modèles</i>	5
<i>Evaluation des FEs, le cas de la Parametric Go NoGo</i>	8
1.2 Vieillissement et fonctionnement exécutif	14
<i>Vieillissement global de la population humaine</i>	14
<i>Substrats neuronaux des FEs et leur évolution</i>	15
<i>Déclin du fonctionnement exécutif et des capacités d'adaptation</i>	16
1.3 Contextualisation et modèles des performances exécutives	19
<i>Performances exécutives en contexte</i>	19
<i>Modèles des performances exécutives en contexte</i>	21
Chapitre 2 : Environnements musicaux, olfactifs, et multisensoriels	25
2.1 Ecoute musicale, cognition et FEs	25
<i>Contextualisation et neurobiologie de l'écoute musicale</i>	25
<i>Musiques, performances cognitives et exécutives</i>	28
<i>Modélisations de l'influence des musiques sur la cognition</i>	35
2.2 Olfaction, cognition et FEs	40
<i>Contextualisation et neurobiologie de l'olfaction</i>	40
<i>Odeurs, performances cognitives et exécutives</i>	44
<i>Tentatives de modélisations de l'influence des odeurs sur la cognition</i>	50
2.3 Expériences multisensorielles, cognition et FEs	53
<i>Définition et contextualisation</i>	53
<i>Intégration multisensorielle, approche Bayésienne et vieillissement</i>	55
<i>Correspondances multisensorielles, environnements olfacto-auditifs et cognition</i>	59
Proposition d'un modèle théorique	64
1. <i>Activités disponibles et tâches à réaliser, facteurs d'âge et de complexité</i>	64
2. <i>Evaluation des demandes de capacité et stratégie d'attribution</i>	66
3. <i>Dispositions durables et intentions momentanées</i>	67
4. <i>Etat d'activation, capacité disponibles et facteur d'âge</i>	68
5. <i>Déterminants divers environnementaux</i>	69
Problématique	71

Etudes expérimentales	75
Étude 1 : Olfactory Habits and Concentration (OHC)	77
Résumé	77
Method	80
<i>Participants</i>	80
<i>Materials and procedure</i>	80
<i>Analyses</i>	82
Results	82
Discussion of OHC study	85
Étude 2 : Musical Habits and Concentration (MHC)	87
Résumé	87
Method	90
<i>Participants</i>	90
<i>Materials and procedure</i>	91
<i>Analyses</i>	91
Results	92
Discussion of MHC study	93
Étude 3 : Music and Odors Characterization for Concentration (MOCC)	97
Résumé	97
Method	100
<i>Participants</i>	100
<i>Materials</i>	101
<i>Apparatus and procedure</i>	105
<i>Analyses</i>	106
Results	107
Discussion of MOCC study	113
Étude 4 : Alternative forms of the <i>Parametric Go/No-Go</i> (PGNG)	119
Résumé	119
Method	122
<i>Participants</i>	122
<i>Material and procedure</i>	123
<i>Measures</i>	124
<i>Analyses</i>	124
Results	125
Discussion of PGNG study	129
Étude 5 : Performances, Odeurs et Musiques (POM)	133
Résumé	133

Méthode	137
<i>Participant·e·s</i>	137
<i>Matériel et procédures</i>	139
<i>Analyses</i>	152
Résultats	153
Discussion de l'étude POM	184
Discussion générale	197
Bibliographie	212

Liste des abréviations

FEs – Fonctions exécutives

WCST – *Wisconsin Card Sorting Test*

TMT – *Trail Making Test*

WAIS-III – *Wechsler Adult Intelligence Scale* – 3^e édition

PGNG – *Parametric Go/NoGo*

CPF – Cortex préfrontal

CCH – *Cognitive Capacity Hypothesis*

LT – *Load Theory*

DCT – *Distraction-conflict Theory*

SAVI – *Strength and Vulnerability Integration*

IFPI – *International Federation of the Phonographic Industry*

ISE – *Irrelevant Sound Effect*

MAH – *Mood Arousal Hypothesis*

TNC – Trouble(s) neurocognitif(s)

RGPD – Règlement général sur la protection des données

EPQR-A – *Revised Eysenck Personality Questionnaire*

GEOS – *Geneva Emotion Odor Scale*

GEMS – *Geneva Emotion Music Scale*

MHC – *Musical Habits and Concentration*

OHC – *Olfactory Habits and Concentration*

MOCC – *Music and Odors Characterization for Concentration*

POM – Performances, Odeurs et Musiques

Avant-propos

La capacité d'adaptation est indispensable pour toute forme de vie, l'humain ne fait pas exception. Pour s'adapter, l'humain use de ses fonctions exécutives, elles sont des processus cognitifs volontaires et énergivores qui permettent notamment la mise en place de stratégies, la planification, la résolution de problèmes complexes, la régulation de comportements et d'émotions, ou encore l'inhibition de stimuli distrayants. Les fonctions exécutives sont néanmoins fragiles, sensibles notamment à l'avancée en âge. Ainsi, lors du vieillissement, une diminution de l'efficacité des fonctions exécutives est mesurée. L'adaptation se réalise également grâce à la perception et à l'intégration de notre environnement au quotidien, multisensoriel par nature. Notre environnement se compose d'autant de lumières que de textures, de goûts, de sons, d'odeurs, de températures qui, une fois intégrés en information neuronale au sein de notre système nerveux central, influencent notre cognition et nos comportements. Dans le cas de la musique, ses effets ont largement été étudiés en psychologie cognitive mettant en avant, selon les méthodologies utilisées et les processus étudiés, des effets positifs, négatifs, voire parfois l'absence d'effet, sur les performances cognitives et les comportements des individus. Cette absence de consensus pourrait être liée à l'aspect multifactoriel des stimuli sensoriels tels que le rythme, le genre musical, la présence ou l'absence de paroles compréhensibles, le mode et les émotions véhiculées, et de nombreuses autres caractéristiques. Les facteurs liés à l'individu sont aussi à prendre en compte, tels que la personnalité, l'âge, les préférences, ainsi que les facteurs liés à la tâche à réaliser en termes de difficulté, de nature. Bien que quotidiennement éprouvée et déterminante dans l'adaptation de nombreux comportements, l'olfaction est majoritairement étudiée en psychologie cognitive sous le prisme de la mémoire, laissant un champ quasi inexploré du côté des fonctions exécutives et de cette notion d'adaptation. Cette thèse a donc pour objectif d'apporter une

réponse pour la compréhension des interactions complexes qui lient l'humain et son environnement multisensoriel, à savoir : de quelles façons les performances exécutives et les ressentis de performances des adultes jeunes et âgé·e·s sont-ils influencés par l'exposition à des environnements multisensoriels et unisensoriels, plaisants ou déplaisants, personnalisés ou imposés ? Après une introduction théorique abordant les fonctions exécutives, le vieillissement, la musique, les odeurs et les environnements multisensoriels olfacto-auditifs, 5 études expérimentales seront présentées. Les deux premières études ont permis de mettre en lumière les habitudes quotidiennes et les préférences musicales et olfactives des adultes jeunes et âgés, notamment dans le cadre d'une activité qui implique le fonctionnement exécutif. La troisième étude avait pour objectif d'identifier les caractéristiques principales (agrément, familiarité, intensité) et émotionnelles communes entre musiques et odeurs, pour opérer une sélection de stimuli auditifs et olfactifs considérés par les participant·e·s comme favorables ou défavorables pour se concentrer. La quatrième étude a permis de tester et de valider 6 formes alternatives à la forme originale préexistante de la Parametric Go NoGo (PGNG), une tâche cognitive qui permet l'évaluation des performances exécutives des adultes, que nous avons prévu d'utiliser de façon répétée dans la dernière étude de cette thèse. Enfin, pour la dernière et cinquième étude, dont l'objectif était d'étudier les influences des musiques et des odorants, personnalisés ou imposés, présentés séparément (unisensoriel) ou conjointement (multisensoriel), sur les performances exécutives et les ressentis de performances d'adultes jeunes (18 à 35 ans) et âgés (48-65 ans). Pour finir, la présentation de ce travail de recherche s'achève sur une discussion générale d'un modèle théorique développé dans le cadre de cette thèse.

Cadre théorique

Chapitre 1 : Fonctions exécutives, vieillissement et performances

1.1 Fonctions exécutives

Définitions et modèles

Les fonctions exécutives (FEs) sont des fonctions cognitives de haut niveau, elles font partie de la famille des processus cognitifs dits *top-down*, nécessaires à tout individu pour orienter délibérément son comportement vers un but (Diamond, 2013 ; Lezak, 1995 ; Miller & Cohen, 2001). Quotidiennement éprouvées, elles sont nécessaires au fonctionnement de nombreuses autres fonctions cognitives (Baddeley *et al.*, 1997 ; Barbey *et al.*, 2012 ; Bouazzaoui *et al.*, 2014 ; Piolino *et al.*, 2007) et sont particulièrement mobilisées pour réguler, adapter, planifier et contrôler nos comportements, définir et exécuter nos stratégies, notamment lorsque les fonctionnements automatiques et routiniers ne permettent pas d'accomplir la tâche demandée (Damasio, 1985 ; Diamond, 2013 ; Shallice & Burgess, 1991). Les activités qui nécessiteraient un fonctionnement exécutif efficient peuvent être sociales, académiques, professionnelles, et de bien d'autres natures, tant qu'elles requièrent une régulation et une optimisation du comportement d'un individu faisant face à une situation peu familière (Gilbert & Burgess, 2008). De récentes recherches proposent d'élargir les FEs à la sphère émotionnelle, avec une distinction entre les FEs *chaudes* qui sont liées aux traitements cognitifs émotionnels, relatifs à la motivation, à la récompense, et les FEs *froides* qui sont liées aux aspects purement cognitifs (Peterson & Welsh, 2014 ; Salehinejad *et al.*, 2021 ; Ward, 2019).

Certains courants théoriques décrivent les FEs comme des mécanismes cognitifs unitaires renvoyant à des domaines cognitifs spécifiques (Miyake *et al.*, 2000 ; 2012). Le modèle de Miyake est un des modèles les plus utilisés dans ce courant (Friedman & Miyake,

2017 ; Miyake *et al.*, 2000 ; Miyake & Friedman, 2012). Ce modèle recense trois FEs, à savoir la flexibilité mentale, l'inhibition de réponse prépondérante et la mise à jour en mémoire de travail. La flexibilité mentale est, parmi les trois FEs, celle au développement le plus tardif (Davidson *et al.*, 2006 ; Garon *et al.*, 2008) et a pour fonction d'alterner, d'adopter et de modifier des processus ou tâches cognitives mobilisés notamment pour la résolution de problèmes (Cepeda *et al.*, 2001 ; Diamond, 2013). L'inhibition de réponse prépondérante permet d'ignorer des informations distrayantes et non pertinentes qui pourraient perturber la réalisation d'une activité, mais aussi d'empêcher et de stopper l'activation d'un processus automatique, qu'il s'agisse d'une pensée ou d'une action. Cette fonction est au cœur même d'activités nécessitant de se concentrer, sans quoi l'attention ne pourrait être sélective mais orientée vers le premier stimulus distracteur (Diamond, 2013). Enfin, la mise à jour en mémoire de travail permet de retenir et de transformer l'information en mémoire de travail verbale ou visuo-spatiale pour intégrer les informations pertinentes qui concernent l'action en cours de réalisation (Diamond, 2013). Ces trois FEs sont mesurables séparément bien qu'étroitement liées (Miyake, 2000 ; 2012) puisque leur étude avait pour but d'obtenir les mesures les plus pures possibles de chaque fonction exécutive. Après avoir testé différents modèles factoriels, les FEs sont liées et ne sont donc pas tout à fait indépendantes malgré l'aspect distinguable des construits exécutifs testés. Le modèle à trois facteurs a été par la suite modifié, pour devenir un modèle à facteur imbriqué (traduit de *nested factor*), dans lequel un facteur unique regroupe les variances entre les neuf mesures de flexibilité mentale, d'inhibition de réponse prépondérante, et de mise à jour en mémoire de travail (Friedman & Miyake, 2017 ; Miyake & Friedman, 2012). Le modèle de Miyake est soutenu par plusieurs études (Fleming *et al.*, 2016 ; Ito *et al.*, 2015), quand d'autres échouent à répliquer la même robustesse (Karr *et al.*, 2018 ; Sambol *et al.*, 2023).

Ainsi, d'autres courants théoriques conceptualisent les FEs comme un système métacognitif de supervision et de contrôle (Diamond, 2013 ; Ward, 2019) dans lequel le

contrôle inhibiteur, la flexibilité cognitive et la mémoire de travail fonctionnent en synergie pour supporter les FEs d'ordre supérieur, telles que le raisonnement, la résolution de problème et la planification. L'approche métacognitive des FEs s'oppose donc à une vision unitaire en pointant notamment les fragilités du modèle des FEs à trois facteurs et au facteur imbriqué de Miyake (Sambol *et al.*, 2023). Selon ces auteurs et autrices, (1) l'utilisation de tâches expérimentales aux structures psychométriques identiques où seules les caractéristiques superficielles changent (telles que les caractéristiques des stimuli visuels dans des tâches de flexibilité mentale de types *couleur-forme* ou *nombre-lettre*) sont limitantes pour la construction d'un facteur unique de flexibilité mentale, et (2) les tâches d'inhibition de réponse prépondérante utilisées dans les études de Miyake telles que le Stroop (Stroop, 1935) et la tâche Antisaccade (Roberts *et al.*, 1994) sont trop peu fiables sur le plan psychométrique. Ainsi, la construction d'un facteur de flexibilité sur trois mesures nécessiterait l'utilisation de tâches exécutives variées, avec une pluralité de règles et une diversité de supports (Sambol *et al.*, 2023). Les auteur·e·s ont donc tenté de répliquer les deux modèles unitaires de Miyake en modifiant certaines mesures qui se voudraient être plus fiables pour chaque fonction exécutive évaluée. Pour la mesure de la flexibilité mentale, une tâche de fluence verbale ainsi qu'une tâche de tri de cartes (tel que la *Card Sorting Task*) sans chronométrage ont été utilisées, en plus d'une tâche de flexibilité mentale de type *couleur-forme*. Pour la mesure de la mise à jour en mémoire de travail, la tâche de *Keep Track* (Miyake *et al.*, 2000) a été conservée, mais la tâche de *Letter Memory* (Morris & Jones, 1990) a été remplacée par un test de *Digit Span* (Wahlstrom *et al.*, 2016), quand la troisième mesure est devenue une tâche de *N-Back* (Jaeggi *et al.*, 2010a ; Jaeggi *et al.*, 2010b). Les mesures d'inhibition ont, elles aussi, subi des modifications. La tâche Antisaccade a été remplacée par le *Contingency Naming Test* (CNT, Anderson *et al.*, 2000), quand la mesure de réaction de la tâche de Stop Signal ne s'est plus basée sur une méthode d'estimation des moyennes (traduit de *mean estimation method*) mais

sur méthode dite « d'intégration » (traduit de *integration method*) censée limiter les biais de temporalité des réponses. Or, ce changement des tâches expérimentales de flexibilité mentale, de mise à jour en mémoire de travail et d'inhibition de réponse prépondérante n'a pas permis de soutenir les modèles unitaires de Miyake (Sambol *et al.*, 2023). Les relations corrélationnelles entre les trois tâches choisies pour la mesure de l'inhibition de la réponse prépondérante par Miyake et ses équipes de recherche (2000 ; 2012) sont trop faibles voire inexistantes pour permettre la construction d'un facteur unique (Sambol *et al.*, 2023 ; Von Bastian *et al.*, 2020). Au-delà des limites psychométriques, les auteur·e·s ont mis en avant l'importance majeure du facteur de mise à jour en mémoire de travail comparativement aux facteurs de flexibilité mentale et d'inhibition de réponse prépondérante. Autrement dit, avec une sélection des outils de mesure des FEs basée sur les indices de fiabilité et de validité reconnus, les performances en flexibilité mentale et en inhibition n'ont pas permis d'identifier distinctement ces deux facteurs. Les auteur·e·s ont donc proposé un modèle renouant avec les suppositions de Diamond (2013). Un modèle dans lequel au premier plan se trouverait un facteur d'ordre supérieur, lui-même divisé en facteurs d'ordre inférieur, qui eux-mêmes représenteraient la variance spécifique d'une tâche donnée.

Evaluation des FEs, le cas de la Parametric Go NoGo

L'absence actuelle de consensus au sujet de la conceptualisation théorique des FEs pourrait laisser penser que la création d'outils psychométriques mesurant le fonctionnement exécutif est difficile. Pourtant, ces outils existent en abondance et sous de nombreuses formes différentes : autant de batteries que d'échelles auto ou hétéro-évaluatives, de tâches numériques ou *papier-crayon*. Mais la quantité ne pouvant pallier la qualité, la fiabilité et la validité des outils psychométriques utilisés sont fondamentales pour l'obtention d'une mesure précise, qui elle-même reste inexorablement dépendante du concept évalué (Naglieri & Goldstein, 2014).

Le choix des outils psychométriques se ferait donc selon l'inscription du ou de la chercheuse dans un courant théorique unitaire ou métacognitif des FEs. Par exemple, selon Sambol *et al.* (2023), de nombreux processus cognitifs d'ordre supérieur et inférieur agiraient simultanément pour l'avènement d'une performance qui se voudrait être exécutive, ce qui rendrait d'autant plus difficile l'obtention d'un score à une tâche qui isolerait une FE. Avec cette approche métacognitive, l'évaluation des FEs se ferait notamment par le biais de tests neuropsychologiques évaluant des fonctions cognitives de haut niveau telles que la planification, ou la mise en place de stratégie, comme le *Continuous Performances Test* (Homack & Riccio, 2006), le *Trail Making Test* (TMT, Arbuthnott & Frank, 2000 ; Bowie & Harvey, 2006 ; Sánchez-Cubillo *et al.*, 2009), le *Delis-Kaplan Executive Function System* (Delis *et al.*, 2001), le sous-test exécutif de la CANTAB (Robbins *et al.*, 1994), le *Wisconsin Card Sorting Test* (WCST, Grant & Berg, 1993 ; Mountain & Snow, 1993), la *Simon Task* (Simon & Wolf, 1963) ou encore le test de la Tour de Londres (Shallice, 1982). Pour nombre de scientifiques dont les travaux s'inscrivent dans cette approche non unitaire, la recherche d'une pureté maximale des tests psychométriques est un des principaux obstacles à l'avènement de mesures exécutives fiables, et établir que divers tests utilisés isolent et évaluent des composantes différentes des FEs serait vain (Bryan & Luszcz, 2000 ; Rabbitt, 1997 ; Yu *et al.*, 2017). D'autres tests psychométriques se veulent plus spécifiques et répondraient davantage à un modèle unitaire des FEs. La *National Institutes Health Toolbox* (Bauer & Zelazo, 2014) propose la *Cognition Battery* pour mesurer distinctement l'inhibition, la flexibilité mentale et la mémoire de travail. Les outils de mesure de la flexibilité mentale incluent le plus souvent l'utilisation de lettres (consonnes et voyelles) et de nombres (paires ou impaires) où répondre correctement durant la tâche nécessite de passer d'une règle à l'autre rapidement en faisant le moins d'erreur possible (Monsell, 2003 ; Rubinstein *et al.*, 2001 ; Wylie & Allport, 2000). Aussi, les tests de fluence verbale sont largement utilisés pour rendre compte des performances

en flexibilité mentale (de Paula *et al.*, 2015). Plus largement, la tâche de *Stop Signal* (Verbruggen & Logan, 2008), la tâche de *Go/NoGo* (Donders, 1969 ; Gomez *et al.*, 2007), la *Simon Task* (Simon & Wolf, 1963) ou le test de Stroop (Stroop, 1935) sont des tâches considérées comme spécifiques à la mesure de la capacité d'inhibition, même si les deux dernières semblent montrer de larges limites psychométriques par ailleurs (Paap *et al.*, 2020 ; Rey-Mermet *et al.*, 2018). La mémoire de travail est couramment évaluée par le test de *Digits Span Backward* (Hilbert *et al.*, 2014), la tâche de *Letter-Number Sequencing* (Mielicki *et al.*, 2018), ou encore la tâche de *N-Back* dont la validité a été remise en cause (Jaeggi *et al.*, 2010a ; Kane *et al.*, 2007).

Un autre outil psychométrique évaluant les FEs est la tâche de la *Parametric Go/NoGo* (PGNG), qui se distingue en de très nombreux points d'une tâche classique de *Go/NoGo*. Bien que les scientifiques à l'origine de la tâche de la PGNG l'aient introduite en citant le modèle de Miyake, cette tâche psychométrique pourrait être un compromis entre les approches unitaire et métacognitive des FEs. La PGNG est une tâche numérique qui consiste tout d'abord en une présentation de trois lettres cibles (les lettres XYZ dans sa forme originale). Les participant·e·s sont averti·e·s qu'en plus des trois lettres cibles, d'autres lettres de l'alphabet apparaîtront sur le moniteur. Il est demandé aux participant·e·s d'appuyer sur le bouton de réponse en fonction de trois règles différentes, qui correspondent à 3 niveaux de difficultés (voir Figure 1). Au niveau 1, les participant·e·s doivent appuyer sur le bouton de réponse à chaque fois qu'une des trois lettres cibles apparaît parmi les lettres distractrices qui flashent à l'écran, les unes à la suite des autres. Ce niveau fait appel à ce que les auteur·e·s nomment l'inhibition *statique*, semblable aux processus cognitifs nécessaires à la réalisation d'une tâche d'attention soutenue ou de vigilance, durant laquelle les stimuli cibles et les distracteurs ne sont pas modifiés. Le niveau suivant est le niveau 2, les participant·e·s doivent s'adapter à une nouvelle règle : une règle de non-répétition. Les lettres cibles sont X et Y (la lettre cible Z n'est pas présente à ce niveau), et

des lettres distractrices flashent une à une. Appuyer sur le bouton de réponse pour une lettre X ou Y est une bonne réponse seulement si la lettre flashée (pour laquelle le bouton de réponse vient d'être appuyé) n'est pas la dernière lettre cible à être apparue, ne constituant donc pas une répétition. Durant ce niveau 2, sont mesurés le temps de réponse, la flexibilité mentale et l'inhibition *contextuelle*, qui se voudrait être plus écologique que l'inhibition *statique* car elle rendrait compte d'une modification en temps réel de l'instruction. Enfin, le niveau 3 revient aux trois lettres cibles présentées au niveau 1 avec la même règle de non-répétition et, avec les mêmes mesures utilisées au niveau 2. Comme le niveau 2, le niveau 3 fait appel à une inhibition *contextuelle*, car la capacité à anticiper la prochaine réponse correcte est diminuée par l'ajout d'une cible supplémentaire (la lettre Z), ce qui vient saturer la capacité en mémoire de travail. Ce dernier niveau de la tâche PGNG a été ajouté par les auteur·e·s pour éliminer les effets de plafond chez les adultes jeunes et en bonne santé (Langenecker & Nielson, 2003 ; Nielson *et al.*, 2002). La PGNG se révèle être sensible à l'âge et au niveau d'éducation, elle permet de mesurer les FEs, l'attention et les temps de réponse par le biais de cinq variables dépendantes (cf. Étude 4) : le pourcentage de réponses correctes, le pourcentage d'inhibitions correctes, l'efficacité, les temps de réponse et la covariation des temps de réponse (Langenecker *et al.*, 2007a ; Votruba & Langenecker, 2013).

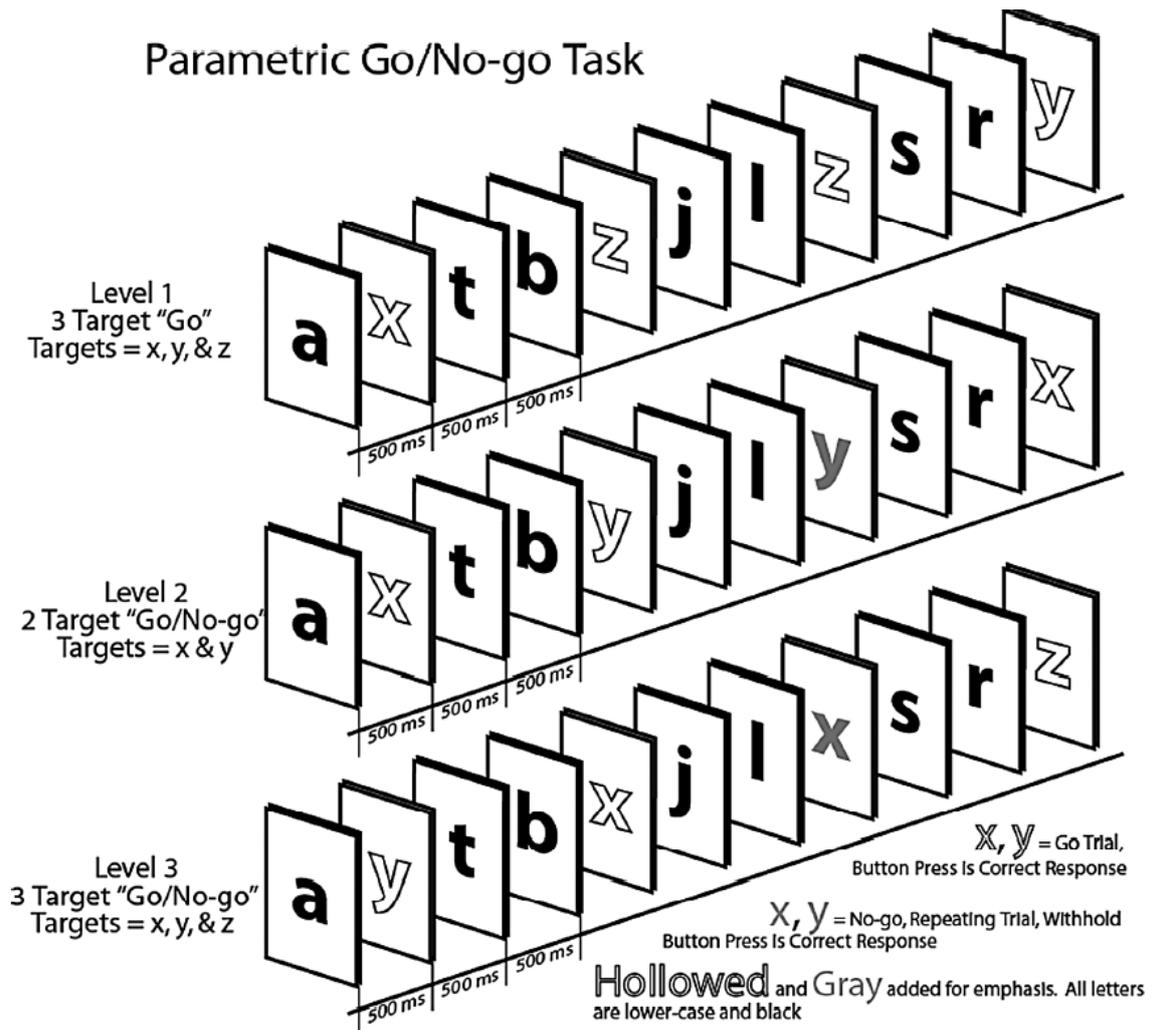


Figure 1 : Illustration des trois niveaux de difficulté de la tâche *Parametric Go/No-Go* (PGNG), tirée de Votruba & Langenecker (2013).

La validité de la PGNG a été obtenue en comparant les performances des participant-es à d'autres tests psychométriques (Votruba & Langenecker, 2013), tels que le sous-test *Digit Symbol* de la *Wechsler Adult Intelligence Scale – 3^e édition* (WAIS-III, Wechsler, 1997) et la partie A du TMT pour la mesure de la vitesse de traitement de l'information psychomotrice et de la coordination visuomotrice, le sous-tests *Digit Span* de la WAIS-III pour une mesure de l'attention auditive, le Stroop pour une mesure de l'inhibition, ainsi que le TMT (partie B-A) et le WCST pour une mesure de la flexibilité mentale. Dans l'optique d'obtenir une validité

divergente, d'autres tests psychométriques étaient utilisés, à savoir le *Controlled Oral Word Association Test* (COWAT, Benton & Hamsher, 1978) pour la fluence verbale, le *Purdue Pegboard test* (Tiffin, 1968) pour la dextérité motrice, le *California Verbal Learning Test–Second Edition* (CVLT–II, Delis *et al.*, 2000) pour la mémoire verbale et le test de Shipley (1940) pour l'intelligence générale. Selon les auteur·e·s, ces mesures présentaient de faibles corrélations avec les mesures de la PGNG.

Au regard de la critique apportée par Sambol et son équipe de recherche (2023) concernant le modèle unitaire des fonctions exécutives de Miyake *et al.* (2000, 2012), plusieurs questions émergent naturellement au sujet de la validité et de la fiabilité de la PGNG comme mesure des FEs. Votruba et Langenecker (2013) avaient choisi une seule tâche évaluant l'inhibition pour tester la validité de la PGNG, il s'agissait du Stroop. En plus d'être la seule mesure des performances inhibitrices mise en comparaison, cet outil psychométrique présente de nombreuses limites psychométriques reconnues (Paap *et al.*, 2020). De plus, le Stroop serait utilisé pour une mesure générale de l'inhibition (Paap *et al.*, 2020), ce qui ne permettrait pas une comparaison spécifique entre inhibition *statique* du niveau 1 de la PGNG, et *contextuelle* des niveaux 2 et 3. Néanmoins, l'utilisation de la PGNG présente de nombreux avantages. Tout d'abord, elle est une tâche de mesure numérique, et d'une durée limitée à environ 15 minutes. Sa structure permet de créer de nombreuses combinaisons possibles, et contrairement à la majorité des outils de mesure des FEs, la PGNG propose cinq mesures qui se répartissent sur trois niveaux de difficulté croissante. Elle propose notamment une mesure de l'inhibition distincte de celle de la vitesse de traitement de l'information, et à deux niveaux de difficulté. Avec la mesure du ratio d'efficacité, il est possible d'obtenir un score qui rendrait compte des compromis faits par chaque participant·e entre vitesse de réponse et précision des réponses, ce qui permet notamment d'observer distinctement les stratégies et capacités en fonction de l'âge.

En regard de ces qualités, cette tâche a été choisie pour être utilisée dans les expériences de cette thèse.

1.2 Vieillesse et fonctionnement exécutif

Vieillesse globale de la population humaine

La population humaine est vieillissante, et cette tendance est irréversible. Ce phénomène est un des quatre changements démographiques majeurs subit par la population mondiale avec la croissance démographique, l'urbanisation, et les migrations internationales (UN, 2020 ; Zhao & Xie, 2022). Le vieillissement de la population mondiale est la conséquence d'interactions de phénomènes globaux, à savoir l'allongement de la longévité humaine, la baisse de la fécondité et de la mortalité (He *et al.*, 2016 ; UN, 2020 ; Zhao & Xie, 2022). Malgré certains phénomènes démographiques spécifiques à certains pays et les contrastes entre continents du Nord et du Sud, la population des personnes âgées de 60 ans et plus a augmenté plus rapidement que celle de tout autre groupe d'âge, et le vieillissement de la population mondiale continue de croître. La population mondiale était composée de 703 millions de personnes âgées de 65 ans ou plus (soit 9,3 % de la population globale) en 2019, elle devrait atteindre 1,55 milliard (soit 15,9% de la population globale) en 2050 avec plus de personnes âgées de 65 ans ou plus que de personnes âgées de 15 à 24 ans (UN, 2020). En 2100, les projections de l'ONU prédisent que près d'un quart de la population humaine mondiale aura 65 ans ou plus, soit 2,46 milliards d'individus (UN, 2020). Nos sociétés actuelles subissent donc une mutation démographique de taille qui induira des crises sociales et économiques, avec notamment la fragilisation des systèmes de retraite socialisée, et la question du maintien de l'autonomie et de la qualité de vie qui y est associée (Grinin *et al.*, 2023 ; Lemaire & Bherer, 2005). En effet, d'un point de vue biologique, le vieillissement est l'accumulation de dommages moléculaires et cellulaires au fil du temps. Ces dommages impliquent une dégradation progressive des capacités physiques et mentales,

majorant ainsi le risque de pathologie. Les facteurs biologiques mais aussi sociaux du vieillissement entretiennent des relations bidirectionnelles (Olsen *et al.*, 1991), avec comme conséquence de grandes transitions de vie comme le placement en institution dans certains cas (Cornwell & Waite, 2009). Bien que le niveau d'étude et d'activités aient des effets protecteurs sur notre cognition et plus particulièrement le fonctionnement exécutif (Postal & Lieury, 2019), une modification des habitudes de vie s'opère nécessairement avec le déclin de la vitesse de traitement de l'information et de nombreuses fonctions cognitives, telles que les capacités sensorielles et les FEs (Craik & Bialystok, 2006 ; Park, 2002 ; Park *et al.*, 2002 ; Rizzuto *et al.*, 2013 ; Wasylshyn *et al.*, 2011 ; Zelazo *et al.*, 2004).

Substrats neuronaux des FEs et leur évolution

Bien que le vieillissement entraîne des pertes neuronales observables par ailleurs grâce à l'imagerie par résonance magnétique (Zhang & Herman, 2002), ce sont de nombreuses observations cliniques rapportées de patients et patientes cérébrolésées qui ont aussi permis d'identifier le cortex préfrontal (CPF), et plus largement les connexions neuronales fronto-pariétales identifiées grâce à l'avancée des technologies médicales, comme siège des FEs (Barbey *et al.*, 2012 ; Collette *et al.*, 1999, 2006 ; Cristofori *et al.*, 2019 ; Daigneault *et al.*, 1992 ; Dempster, 1992 ; Friedman & Robbins, 2022 ; Luria, 1966 ; Menon & D'Esposito, 2022 ; Miller & Cohen, 2001 ; West, 1996). Quelques scientifiques théorisent une différenciation fonctionnelle du CPF entre les hémisphères droit et gauche (Stuss, 2011), et entre les zones antérieures et postérieures (Badre & D'Esposito, 2009). Une étude plus récente propose notamment que le fonctionnement exécutif adviendrait grâce à l'interaction entre des réseaux neuronaux spécifiques au CPF et des faisceaux cérébraux plus globaux (Badre & Nee, 2018). Ces distinctions au sein même du CPF permettent d'envisager d'autres substrats neuronaux des FEs, avec des zones neuronales locales différentes : les zones médianes du CPF pour les FEs

chaudes (Lipsman *et al.*, 2014 ; Ochsner & Gross, 2005 ; Wang *et al.*, 2016), et latérales pour les FEs *froides* (Aron *et al.*, 2014 ; Du *et al.*, 2020 ; Hampshire *et al.*, 2010 ; Lemire-Rodger *et al.*, 2019). Par l'intégration de la sphère émotionnelle dans le fonctionnement exécutif, ont été mis en avant des relations proches entre le CPF, le cortex cingulaire (Patai & Spiers, 2021 ; Salehinejad *et al.*, 2021), et de nombreuses structures sous-corticales, notamment limbiques (Ardila, 2019 ; Matyi & Spielberg, 2021 ; Pessoa, 2009). Enfin, il est communément admis qu'avec le délai de maturation du CPF, les FEs sont une des fonctions cognitives à atteindre la maturité le plus tardivement. La maturation des FEs est fixée aux alentours de 25 ans, pour suivre une chute progressive des performances avec le vieillissement (De Lucas & Leventer, 2008 ; Filippi *et al.*, 2020 ; Hämmerer *et al.*, 2010 ; Zelazo *et al.*, 2004).

Déclin du fonctionnement exécutif et des capacités d'adaptation

L'efficacité des FEs ne suit pas une progression linéaire tout au long de la vie, mais plutôt une progression dont la courbe dessine un U : les capacités exécutives se développent durant l'enfance et l'adolescence, atteignent un pic d'efficacité aux alentours de 25 ans, pour ensuite décliner progressivement (Bedard *et al.*, 2002 ; Cepeda *et al.*, 2001 ; Comalli *et al.*, 1962 ; Dempster, 1992 ; Ferguson *et al.*, 2021 ; Robbins *et al.*, 1994 ; Zelazo *et al.*, 2004). Plusieurs modèles et hypothèses ont été proposés pour tenter d'expliquer l'impact d'un tel déclin sur l'individu. Selon l'hypothèse exécutivo-frontale, le déclin progressif de l'efficacité des FEs et de la vitesse de traitement de l'information expliquerait en grande partie le déclin cognitif global observé avec l'avancée en âge (Salthouse *et al.*, 2003). Cette hypothèse propose que l'altération des cellules du lobe frontale, à l'origine du déclin des FEs, médiatiserait l'impact du vieillissement sur toutes les fonctions cognitives qui dépendraient des FEs, avec comme conséquence une diminution de l'efficacité, de l'organisation et de l'adaptabilité des comportements (Allain *et al.*, 2007 ; Braver *et al.*, 2001 ; Craik & Grady, 2002 ; Salthouse *et*

al., 2003 ; West, 1996). Le déclin des FEs avec le vieillissement est aussi abordé par une extension de la théorie intitulée *Cognitive Complexity and Control* (Zelazo et al., 2004 ; Zelazo & Frye, 1998). Cette approche, tout d'abord orientée vers le développement hiérarchique des FEs chez l'enfant, propose que malgré un niveau élevé de réflexion consciente et en dépit d'une capacité à formuler et à se conformer aux règles lors d'une tâche impliquant les FEs à haut niveau, les efforts et les ressources nécessaires à ces élaborations exécutives seraient de plus en plus coûteux et énergivores avec le vieillissement. Malgré la familiarité de nombreuses situations, les adultes seraient de moins en moins susceptibles de passer de façon fluide et rapide d'une règle à l'autre, et ceci malgré un accès à des représentations cognitives préformées grâce à l'expérience, se traduisant notamment par des erreurs de persévération (Zelazo et al., 2004). Le déclin des capacités d'adaptation au cours du vieillissement est aussi mis en avant dans le modèle de la *Strength and Vulnerability Integration* (SAVI, Charles, 2010). Ce modèle postule qu'avec l'avancée en âge, la perte de flexibilité physiologique impacte négativement la capacité à réguler les affects et les émotions, fragilisant ainsi la régulation homéostatique des adultes âgés. Le modèle SAVI propose notamment qu'au cours de l'âge adulte, les stratégies mises en place pour limiter l'exposition aux stimuli pouvant impacter l'équilibre homéostatique s'améliorent. Néanmoins, lors d'une exposition induisant des affects négatifs, les vulnérabilités induites par le vieillissement fragiliseraient le retour à un état homéostatique équilibré, ce qui laisserait les adultes âgés dans un état d'activation élevée prolongé et impacterait leur bien-être émotionnel.

Bien que le vieillissement soit un processus continu et s'étalant sur de nombreuses années, une très grande partie de la littérature scientifique l'aborde sous forme de variable catégorielle. Les catégories d'âge les plus souvent mises en comparaison pour étudier l'effet du vieillissement sur les FEs sont la catégorie « adultes jeunes », et la catégorie « adultes âgés » (Ferguson et al., 2021). Les méthodologies employées dans une même communauté

scientifique sont souvent plurielles, et si les noms des catégories d'âge utilisées sont les mêmes, ils ne renvoient cependant pas toujours aux mêmes tranches d'âge. Toutefois, alors même que les performances exécutives déclineraient aux alentours de la trentaine (Ferguson *et al.*, 2021 ; Filippi *et al.*, 2020 ; Hartshorne & Germine, 2015 ; Johnson *et al.*, 2010 ; Park *et al.*, 2002), peu d'études abordent l'efficacité des FE au cours de catégories d'âges intermédiaires, entre 30 et 65 ans. Parmi elles, les études de Ferguson *et al.* (2021) et de Filippi *et al.* (2020) font plusieurs constats intéressants. Ferguson et son équipe de recherche (2021) explorent l'évolution des fonctions exécutives auprès de 350 participant·e·s âgé·e·s de 10 à 86 ans, réparti·e·s en 5 catégories d'âges (10 - 17 ans, 18 - 29 ans, 30 - 49 ans, 50 - 64 ans, 65 - 86 ans), en utilisant le Stroop pour une mesure de l'inhibition générale, la tâche *Operation Span* (Unsworth *et al.*, 2005) pour une mesure de la mémoire de travail, une matrice comme tâche de flexibilité mentale (Rogers & Monsell, 1995), la tâche de la Tour de Hanoï (Welsh, 1991) pour mesurer la planification. Les analyses de cette étude révèlent que les FE ne déclineraient pas toutes au même moment : les performances en inhibition commenceraient à baisser aux alentours de 35 ans, quand la chute des performances en mémoire de travail débiterait vers les 30 ans. Les performances en planification atteindraient leur maximum pour les 18 – 29 ans, pour ensuite décliner au fur et à mesure de l'avancée en âge. Enfin, les coûts en capacité de flexibilité mentale étaient différents selon qu'il s'agissait de *mixing costs*¹, qui augmentaient avec le vieillissement, ou de *switch costs*², qui eux, déclinaient avec l'avancée en âge.

Filippi *et al.* (2020) constatent que les performances en planification et de mise en place de stratégies sont équivalentes entre tous les groupes d'âge adultes étudiés (18 - 35 ans, 36 - 55 ans, et 56 - 80 ans) lors d'un niveau simple à la tâche de la Tour de Londres. Néanmoins, les meilleures performances au niveau difficile de cette même tâche étaient réalisées par les 18 –

¹ Coûts cognitifs engendrés par une gestion d'un ensemble de tâches diverses.

² Coûts cognitifs engendrés par un changement de tâche.

35 ans comparativement aux deux autres groupes, et un déclin progressif était observé avec l'avancée en âge. Ces mêmes scientifiques avaient également utilisé la *Simon Task*. Alors que les 18 – 35 ans étaient plus performants que les 56 – 80 ans en termes de rapidité à répondre entre les essais congruents et incongruents de la *Simon Task* (performance appelée *Simon cost*), aucune différence entre les groupes d'âge adultes n'était observée sur les performances en termes de précisions (traduction de *accuracy*). Les effets du vieillissement sur les FEs seraient donc précoces (dès la fin de la trentaine) et d'autant plus observables par l'utilisation d'outils psychométriques qui comportent des niveaux de difficulté croissants. De plus, la précision des réponses semble moins sensible à l'avancée en âge comparativement au temps nécessaire à la réalisation de la tâche.

Au-delà des déclinés induits par l'avancée en âge, le fonctionnement exécutif repose sur des informations disponibles dans l'environnement des individus. Ces informations environnementales sont nécessaires pour opérer une adaptation adéquate. Ainsi, il est pertinent d'étudier de quelles façons les performances exécutives des adultes jeunes et âgés sont influencées par des informations sensorielles environnementales.

1.3 Contextualisation et modèles des performances exécutives

Performances exécutives en contexte

Nous avons vu en ce début de chapitre que l'évaluation des FEs se confronte au manque de validité de nombreux tests psychométriques. Pour tenter de surmonter cet obstacle, des scientifiques ont mis au point des questionnaires (par exemple, le *Dysexecutive Questionnaire and Brock Adaptive Functioning Questionnaire*, Chaytor *et al.*, 2006) dont l'objectif est l'évaluation du fonctionnement exécutif des personnes en interaction avec leur environnement, lors de la réalisation d'activités de la vie quotidienne (Burgess *et al.*, 1998, 2006). D'autres

chercheurs et chercheuses ont mis au point des tâches écologiques (par exemple la *Hotel Task*, Manly *et al.*, 2002) dans lesquelles l'environnement occupe une place importante et fournit des informations sensorielles qui aideraient à réaliser la tâche. La *Hotel Task*, consiste par exemple à manipuler l'environnement sonore pour soutenir les FEs endommagées de personnes ayant vécu un traumatisme cérébral. De brefs stimuli auditifs, considérés comme des éléments distracteurs, interrompent à plusieurs reprises l'activité en cours réalisée par les patient·e·s (Manly *et al.*, 2002). Ces interruptions permettraient aux participant·e·s d'évaluer régulièrement l'organisation des tâches multiples qu'il leur faut accomplir. Une modification de l'environnement sensoriel pourrait ainsi améliorer et normaliser les performances en résolution de problème et en planification de patient·e·s cérébrolésé·e·s, pour qui les persévérations et les difficultés en flexibilité mentale nuisent à l'aboutissement d'actions quotidiennes diverses (Manly *et al.*, 2002). Un autre exemple de performances exécutives en contexte est l'utilisation d'*Interaction Multisensory Environments* pour la réalisation de mesures neuropsychologiques, comme le test du Stroop (Giudici *et al.*, 2022). Les participant·e·s réalisaient un test de Stroop immersif appelé *Basic Interactive Stroop Test* dans lequel l'interaction vocale était remplacée par une interaction motrice (Giudici *et al.*, 2022). Plus précisément, les mots à lire étaient affichés et projetés du mur vers le sol, et glissaient de haut en bas. Les participant·e·s devaient se déplacer sur les mots pour les « attraper » au lieu de les lire, et marcher sur un mot projeté validait la réponse. Cette transposition immersive du Stroop n'affectait pas les scores d'adultes sains comparativement aux normes attendues, prouvant ainsi que la transposition d'une tâche psychométrique dans un environnement immersif n'impactait ni n'améliorait les performances exécutives. L'évaluation des FEs peut aussi se réaliser en Réalité Virtuelle (VR, pour *Virtual Reality*) dans un espace créé en trois dimensions, qui conjugue constance de l'environnement (l'environnement virtuel n'est pas soumis aux aléas du réel et reste constamment le même), possibilités d'interaction avec ce

dernier, et fiabilité psychométrique (Davison *et al.*, 2018 ; Jansari *et al.*, 2014 ; Renison *et al.*, 2012). Les environnements virtuels générés sont très diversifiés et peuvent être des bureaux, des bibliothèques, des appartements, des plages ou des rues (Carelli *et al.*, 2008 ; Elkind *et al.*, 2001 ; McGeorge *et al.*, 2001 ; Titov & Knight, 2005 ; Zalla *et al.*, 2001). Les environnements virtuels mobilisent généralement les sens haptique (pour la saisie virtuelle d'objets), visuel et auditif (pour l'identification d'objets et d'évènements), alors que les sens chimiques tels que la gustation et l'olfaction sont très peu exploités.

La création de ces tâches écologiques et immersives a pour ambition de mesurer des performances exécutives en contexte. Parce que les FEs sont mobilisées lors d'apprentissages, elles sont au cœur même de tout ce qui requiert une bonne performance, qu'elle soit physique ou cognitive, notamment en milieux scolaires et professionnels (Bailey, 2007 ; Blair & Razza, 2007 ; Cramm *et al.*, 2013). Comme nous l'avons vu en début de ce chapitre, les FEs sont des fonctions cognitives nécessaires à l'humain lorsqu'il doit mener à bien une tâche tout en composant avec les aléas de son environnement, en restant impliqué dans une activité tout en ignorant les distractions. De nombreux modèles ont proposé de rendre compte de l'influence de l'environnement sur les performances exécutives des humains.

Modèles des performances exécutives en contexte

Pour modéliser l'influence de l'environnement sur les performances cognitives, et exécutives plus spécifiquement, le modèle du Système Superviseur (*Supervisory System model*, Shallice, 1988) semble être une première piste de réflexion idéale par sa simplicité et sa clarté (voir Figure 2). Selon ce modèle, les comportements (aussi appelés « réponses ») sont gouvernés par des schémas de pensées et d'actions. Un schéma regroupe des possibilités d'actions et de cognitions qui, par un effet de répétition du comportement évalué comme adéquate, sont devenues des réponses privilégiées appelées « routines ». L'activation d'un

schéma peut être déclenchée par un évènement (par exemple, une information sensorielle) intervenant dans l'environnement de l'individu, et cette activation peut donner lieu à la réalisation d'un comportement routinier approprié. Dans le cas d'une situation caractérisée par de la nouveauté, ou par la nécessité d'inhiber un schéma routinier qui ne serait pas approprié, le système superviseur entrave l'activation des schémas routiniers en régulant et sélectionnant des schémas de réponse alternatifs, rendant ainsi le comportement adapté à la nouvelle situation. Lorsqu'une tâche non routinière à accomplir n'est pas suffisamment guidée ou entretenue par des déclencheurs environnementaux, une réduction de l'efficacité du système superviseur peut entraîner la mise en place de schémas routiniers inappropriés, eux-mêmes entretenus par des évènements environnementaux distrayants saillants. Selon ce modèle, lorsque le système superviseur est endommagé (par exemple, dans le cas de lésions cérébrales), les difficultés à sélectionner des schémas alternatifs appropriés s'observent par des persévérations.

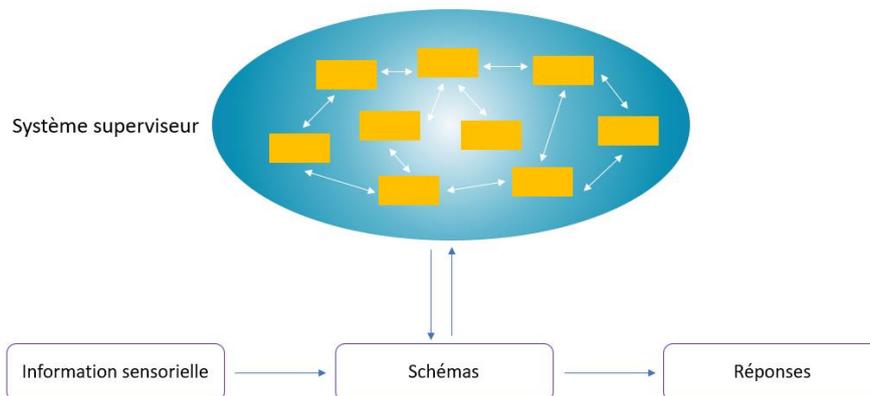


Figure 2 : Illustration du modèle du Système superviseur de Shallice (1988).

Ce modèle du fonctionnement exécutif permet une première compréhension du rôle de l'environnement en interaction avec la performance cognitive : l'information sensorielle perçue déclenche une réponse comportementale routinière ou adaptée à une nouvelle situation. Néanmoins, l'environnement peut aussi être distrayant, en déclenchant la mise en place d'un schéma inapproprié, et en réduisant l'efficacité du système superviseur.

La capacité à inhiber une information environnementale est aussi abordée par la *Cognitive Capacity Hypothesis* (CCH, Kahneman, 1973). Selon ce modèle, les capacités cognitives sont limitées et varient selon l'état d'activation (traduit d'*arousal*) des personnes (voir Figure 3). Lorsque l'état d'activation d'un individu est modérément haut comparativement à modérément bas, sa capacité à inhiber des distracteurs serait meilleure et sa capacité cognitive (autrement dit, sa capacité à réaliser une tâche) serait grande. Quand un état d'activation trop bas mènerait à une incapacité à inhiber des distracteurs, un état d'activation trop haut inhiberait la prise en compte d'éléments environnementaux pertinents, empêchant ainsi l'individu de mener à bien une activité ou d'adapter son comportement.

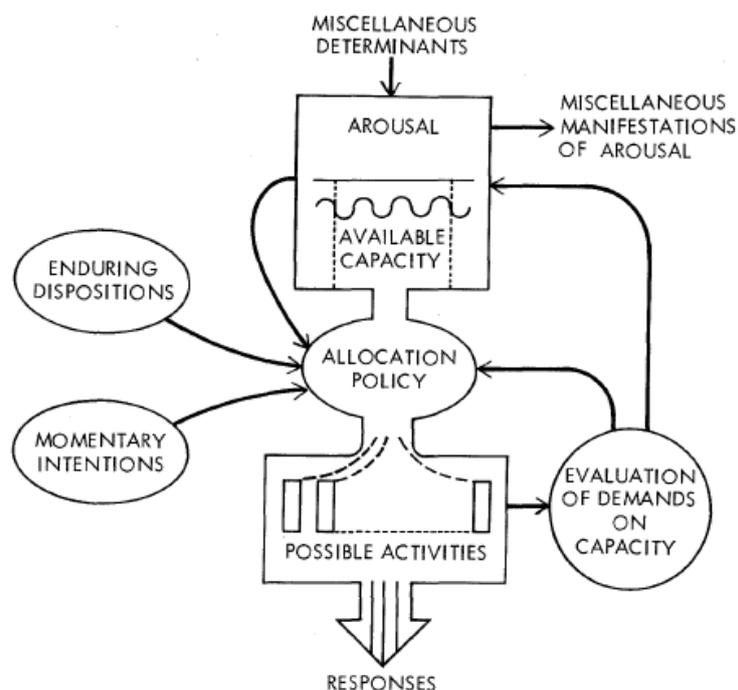


Figure 3 : Illustration du modèle de la CCH, tirée de Kahneman (1973).

Ce modèle met notamment en avant l'éventuelle surcharge de la capacité cognitive lorsqu'un distracteur s'appuie sur les mêmes ressources que la tâche à réaliser. Ainsi, la capacité cognitive d'une personne interagit avec l'environnement, et cette interaction influence sa performance. Complémentaire à ce modèle, la *Load Theory* (LT, Lavie, 2005, 2010) propose

qu'un évènement distracteur peut impacter négativement la tâche à réaliser, selon la nature de la charge à mobiliser (traduit de *load*). Selon cette théorie, chaque tâche requiert la mobilisation d'une charge qui peut être perceptive ou cognitive. Lorsqu'une tâche nécessite une grande charge perceptive, un individu pourrait facilement bloquer les distracteurs puisque aucune ressource perceptive ne serait disponible et orientable vers les distracteurs. Le nombre d'évènements à percevoir aurait, dans ce cas, saturé les ressources de l'individu en question. Dans le cas d'une tâche nécessitant une grande charge cognitive, la tâche en cours pourrait être interrompue par un évènement non pertinent similaire à l'activité réalisée. Par exemple, une activité qui solliciterait grandement les capacités en mémoire de travail pourrait être interrompue par un distracteur qui reposerait sur les mêmes capacités. La LT inclut notamment l'influence du vieillissement sur les capacités d'inhibition des distracteurs, et propose qu'une capacité perceptive réduite permettrait d'atténuer de la sensibilité aux évènements non pertinents lorsque la charge perceptive d'une tâche à réaliser serait faible. Autrement dit, les adultes âgé·e·s inhiberaient plus facilement des distracteurs lors d'une tâche à faible charge perceptive grâce à une perception affaiblie, comparativement aux adultes jeunes et d'âge intermédiaire.

Alors que la *Load Theory* expose un modèle détaillant de quelle façon un évènement distracteur peut influencer négativement les performances cognitives, la *Distraction-conflict Theory* (DCT, Baron, 1986) propose une théorie contre-poids dans laquelle un distracteur pourrait exercer une influence positive sur les performances cognitives. Selon cette théorie, lors d'une tâche simple ou répétitive nécessitant une faible charge cognitive, les individus pourraient être moins enclins à basculer vers une sorte d'errance mentale (traduit de *mind-wandering*) grâce à un distracteur (Goltz & Sadakata, 2021 ; Gonzalez & Aiello, 2019). Dans ce cas, le distracteur permettrait de créer un conflit attentionnel et augmenterait d'une part l'état d'activation, mais aussi la charge cognitive de la tâche. Les personnes seraient donc plus

cognitivement sollicitées, et les capacités cognitives pour la réalisation de la tâche avec l'ajout du distracteur s'ajusteraient davantage à la charge cognitive requise pour l'aboutissement de l'activité en cours. En suivant cette logique, dans le cas d'une tâche nécessitant une très haute charge cognitive, le conflit attentionnel créé par le distracteur ajouterait une charge cognitive supplémentaire. Les capacités cognitives des individus seraient dépassées, rendant la réalisation de la tâche impossible. En résumé, les distractions créeraient des conflits attentionnels qui augmenteraient l'état d'activation, et selon si la tâche est simple ou complexe, permettraient de soutenir ou de nuire à sa réalisation.

L'environnement est intégré dans les modèles cognitifs sous la forme d'évènements sensoriels distrayants ou facilitateurs, et exerçant donc une influence négative ou positive sur les performances. Cet impact semble être dépendant de plusieurs facteurs, notamment l'état d'activation des personnes, et la complexité de la tâche à réaliser. De nombreuses et nombreux scientifiques se sont intéressés à l'influence de l'environnement sensoriel sur les performances cognitives, et parfois exécutives. Dans la suite de cette introduction, nous abordons spécifiquement les travaux de recherche ayant exploré l'influence de l'écoute musicale, des odeurs et plus largement l'influence des environnements multisensoriels, sur les performances cognitives et exécutives des adultes.

Chapitre 2 : Environnements musicaux, olfactifs, et multisensoriels

2.1 Ecoute musicale, cognition et FEs

Contextualisation et neurobiologie de l'écoute musicale

La musique peut aujourd'hui s'écouter partout à tout moment sur nos appareils portables personnels, si bien que nous passons en moyenne 18.4 heures par semaine à en écouter (IFPI, 2021). Deux profils d'auditeurs et auditrices semblent se démarquer : les moins engagé·e·s, qui

écoutent de la musique en moyenne 12 heures par semaine, qui sont moins susceptibles de choisir une musique particulière et qui écoutent de la musique par habitude, pour passer le temps et se sentir moins seul·e ; et les plus engagé·e·s, qui écoutent de la musique en moyenne 21 heures par semaine, qui sont plus susceptibles de choisir une musique particulière pour induire des émotions précises, pour créer une atmosphère spécifique, et pour améliorer la concentration et accompagner la réalisation d'une activité (Greasley & Lamont, 2011).

Ainsi, écouter volontairement ou involontairement de la musique est un phénomène quotidien qui peut se dérouler dans les transports, les magasins, les cinémas, les restaurants, les bars, au travail, au sport, chez nous (Dibben & Williamson, 2007 ; Rentfrow, 2012). La quasi-omniprésence de la musique dans notre quotidien résiste même aux bouleversements les plus drastiques de nos habitudes de vie. Par exemple, durant la pandémie de coronavirus entre 2019 et 2020, la fréquence d'écoute musicale et les comportements liés n'ont pas diminué, certains ont même augmenté et ont notamment permis le maintien d'états émotionnels positifs (Carlson *et al.*, 2021 ; Kiss & Linnell, 2023). Les recherches en anthropologie, en sociologie, en psychologie sociale et cognitive pointent le rôle de la musique comme un média important permettant l'identification de soi dans une communauté (Andy, 2015 ; DeNora, 2000 ; Rentfrow, 2012), la communication (Hauser & McDermott, 2003 ; Patel, 2010 ; Wallin *et al.*, 2001), la régulation d'émotions et d'affects (Juslin & Sloboda, 2010; van Goethem & Sloboda, 2011), la réduction de la douleur (Valevicius *et al.*, 2023) ou encore la réminiscence de souvenirs autobiographiques accompagnés d'émotions vives (Jakubowski & Ghosh, 2021 ; Salakka *et al.*, 2023). Ainsi, la recherche de LA musique qui procurera le plus de plaisir, qui aidera à maintenir un état de concentration, les performances physiques ou encore la volonté de créer des listes musicales personnalisées sont des comportements courants de nos jours : sur 43 000 personnes interrogées par l'*International Federation of the Phonographic Industry* (IFPI, 2021), 68% d'entre elles déclaraient rechercher des chansons spécifiques plus d'une fois

par semaine, et 78% d'entre elles utilisaient des listes musicales personnalisées. L'usage de la musique comme fond sonore en étudiant ou en travaillant représentait 40% de la population étudiée selon une enquête de l'IFPI, en 2018.

Le traitement des informations musicales partage des substrats neuronaux communs au traitement du langage, ce qui souligne sa capacité à transmettre un message. Les informations sonores se diffusent du cortex auditif jusqu'au lobe frontal par le biais de deux différents faisceaux neuronaux, à savoir une boucle dorsale et postérieure vers les aires pariétales, et une autre boucle neuronale ventrale et antérieure vers les aires temporales (Zatorre & Salimpoor, 2013). Ces connexions neuronales permettent l'interaction et l'intégration des informations auditives avec celles d'autres modalités liées à l'action et à l'organisation motrice, à la planification et à la mémoire de travail. Le plaisir et les états émotionnels, pouvant être intenses et induits par l'écoute d'une musique, sont liés à l'activation du circuit neuronal mésolimbique (Blood & Zatorre, 2001 ; Salimpoor *et al.*, 2011). Une des réponses physiologiques nettement perceptibles d'un état émotionnel élevé lié à l'écoute de la musique est le frisson musical. Il a notamment été prouvé qu'il était, d'une part, lié à une activité dopaminergique (Ferreri *et al.*, 2019) dans la partie ventrale du striatum (Blood & Zatorre, 2001), et d'autre part, le témoin d'une augmentation de l'activité du système nerveux sympathique (Salimpoor *et al.*, 2009). L'étude de Salimpoor *et al.* (2009) a ainsi permis de lier plaisir éprouvé, état émotionnel et état d'activation augmenté subjectif et objectif. L'écoute d'une musique induit la perception d'une mélodie constituée d'une suite de silences et de sons de hauteurs différentes, mais cette activité implique aussi une composante prédictive (Huron, 2006). C'est-à-dire qu'écouter de la musique, tout comme le langage, conduit à involontairement s'attendre à des suites de silences et de sons plus ou moins probables. Ces prédictions se basent sur les expositions régulières passées à des événements auditifs similaires, suivant des règles musicales ou langagières

spécifiques (Loui *et al.*, 2009 ; Schön & François, 2011). Ainsi, les expositions antérieures répétées et semblables ont comme conséquence la modulation de l'expérience musicale pour chaque individu, créant ainsi des différences interindividuelles, notamment sur la sensation d'agrément.

Malgré l'usage répandu de musiques pendant la réalisation d'activités liées au travail ou aux études, l'étude scientifique de ses effets sur les performances cognitives n'aboutit pas, à ce jour, à des résultats consensuels dans la communauté scientifique comme nous l'abordons dans la partie suivante (de la Mora Velasco & Hirumi, 2020 ; Gonzalez & Aiello, 2019 ; Kämpfe *et al.*, 2011).

Musiques, performances cognitives et exécutives

Il est important de noter ici que nous nous intéressons dans cette sous-partie aux performances dans différentes tâches cognitives et non spécifiquement aux tâches cognitives qui impliquent les FEs. En effet, les influences de la musique sur les FEs n'ont quasiment pas été testées. La multiplicité des études qui explorent l'interaction musique-cognition n'a pas encore permis de faire émerger un consensus, et cette absence de consensus peut être en partie imputée à la grande diversité des méthodologies employées dans les études empiriques. Par exemple, les comparaisons faites entre les conditions expérimentales (extraits musicaux agréables ou désagréables, bruit blanc, silence) sont très variées. On remarque aussi que dans certaines études la diffusion de musiques intervient avant la tâche à effectuer, quand dans d'autres la diffusion a lieu pendant la tâche. En plus de prendre en considération cette diversité méthodologique, l'étude de l'effet de l'écoute musicale sur la cognition humaine nécessite de prendre en considération trois principaux facteurs : les caractéristiques liées aux stimuli sensoriels, celles liées à la tâche à réaliser, et enfin celles liées aux individus (Gonzalez & Aiello, 2019).

Concernant les caractéristiques des stimuli sensoriels, la musique est un stimulus auditif complexe composé de nombreuses variables. Les scientifiques les ont faites varier, notamment l'absence ou la présence de paroles dans une langue parlée, comprise ou étrangère (Alley & Greene, 2008 ; Crawford & Strapp, 1994 ; de Groot & Smedinga, 2014 ; Shih *et al.*, 2012), le tempo et l'état d'activation induit (Cloutier *et al.*, 2020 ; Husain *et al.*, 2002 ; Oakes & North, 2006), le volume et le timbre (Gonzalez & Aiello ; Oakes & North, 2006), le genre musical (Lehmann *et al.*, 2019 ; Mammarella *et al.*, 2007), l'agréabilité (Ferreri *et al.*, 2015 ; Nawaz & Omigie, 2023) et la familiarité perçues de la musique écoutée (Chew *et al.*, 2016), ou encore les émotions induites par cette dernière (Zentner *et al.*, 2008). Cependant, l'impact éventuel de ces caractéristiques musicales devrait être modéré. Par exemple, lors de la réalisation d'une tâche stressante, Arbodela *et al.* (2022) ont montré que la diffusion d'une musique à tempo lent ou rapide n'influait pas directement les performances cognitives, mais que ces dernières étaient impactées par la perception de l'effort à fournir lorsque de la musique était diffusée comparativement à du silence. Autrement dit, la diffusion de musiques augmenterait la perception de l'effort cognitif à engager pour la réalisation d'une tâche stressante, diminuant ainsi les performances cognitives.

Au sujet de l'effort cognitif à engager, les caractéristiques de la tâche à réaliser renseignent une diversité de résultats. Certaines études font état d'effets négatifs de l'écoute musicale sur l'attention visuelle sélective et divisée (Deng & Wu, 2020), la mémoire (Echaide *et al.*, 2019 ; Iwanaga & Ito, 2002), la compréhension (Furnham & Strbac, 2002) et les tâches d'écriture et de lecture (Ransdell & Gilroy, 2001). En revanche, d'autres études ont rapporté des résultats contradictoires, montrant les effets positifs de l'écoute musicale sur l'attention visuelle sélective (Darrow *et al.*, 2006 ; Herlekar *et al.*, 2019 ; Wu & Shih, 2021), les habiletés spatiales (Husain *et al.*, 2002), et la mémoire épisodique (Cournoyer Lemaire, 2019).

Enfin, les effets des caractéristiques individuelles ont aussi été étudiés. On retrouve notamment l'effet de l'état cognitif global, de la mémoire de travail (Christopher & Shelton, 2017 ; Lehmann & Seufert, 2017 ; Psyche & Guetta, 2019), de l'expertise musicale (Darrow *et al.*, 2006 ; Patston & Tippett, 2011) ou encore de la personnalité (Furnham *et al.*, 1999 ; Furnham & Allass, 1999 ; Furnham & Bradley, 1997 ; Lim *et al.*, 2022 d'après Eysenck, 1985). Parmi ces caractéristiques individuelles, les préférences individuelles occupent une toute nouvelle place dans la littérature scientifique. Certain·e·s scientifiques observent une influence négative de l'écoute de musiques non-préférées sur la compréhension d'un texte lu comparativement à du silence (Johansson *et al.*, 2012). Une influence négative est aussi mesurée sur les performances en attention visuelle et en mémoire de travail, tantôt avec la diffusion d'une musique jugée agréable et préférée (Nemati *et al.*, 2019), tantôt de musiques considérées comme fortement agréables ou désagréables (Huang & Shih, 2011), et ceci comparativement à une musique induisant un état émotionnel neutre. À l'inverse, d'autres chercheurs et chercheuses ont observé un effet positif de la musique non-préférée sur les performances de rappel comparativement à une musique préférée (Perham & Sykora, 2012). Mais il est important de noter que les préférences faites par les participant·e·s reposent globalement sur des choix plus ou moins contraints : parmi un échantillon d'extraits musicaux plus ou moins large, la musique induisant le plus de plaisir ou de déplaisir est sélectionnée. Les études qui explorent les effets de la préférence des participant·e·s n'utilisent donc pas des musiques sélectionnées sur un critère de « personnalisation ». La prise en considération de la personnalisation musicale est récente et peu commune dans ce domaine de recherche. Dans de telles études, il est par exemple demandé aux participant·e·s d'amener leur CD ou leur liste de musique favorite et de l'écouter tout en effectuant une tâche cognitive (Darrow *et al.*, 2006 ; Mori *et al.*, 2014). Les résultats suggèrent que l'utilisation d'une musique préférée et personnalisée influence positivement certaines performances cognitives, notamment les

performances attentionnelles en diminuant la proportion d'états d'errance mentale (traduit de *mind-wandering states*) et par conséquent la distractibilité (Darrow *et al.*, 2006 ; Kiss & Linnell, 2021 ; Mori *et al.*, 2014). Dans d'autres études, l'effet positif d'une musique préférée et personnalisée sur les performances cognitives repose sur des facteurs liés à l'appartenance culturelle des participant·e·s (Kotsopoulou & Hallam, 2010 ; Mohan & Thomas, 2020). De manière intéressante, sont observées une moindre utilisation de musiques personnalisées lors de l'exécution de tâches complexes ainsi qu'une plus grande fréquence de l'écoute musicale lors d'activités cognitives par les adultes jeunes comparativement aux adultes plus âgés (Goltz et Sadakata, 2021).

L'âge est en effet une autre caractéristique individuelle importante à prendre en considération. D'une part, le vieillissement est lié à une dégradation des capacités sensorielles, notamment auditives (Patel & McKinnon, 2018), et ce phénomène est lui-même associé à un déclin cognitif accéléré (Amieva *et al.*, 2015). La sénescence sensorielle a pour conséquence une moins bonne perception de son environnement, impactant ainsi les capacités à s'adapter à ce dernier (Crews, 2022). D'autre part, en suivant le modèle SAVI (Charles, 2010) et l'hypothèse exécutivo-frontale (Salthouse *et al.*, 2003) présentés dans le chapitre précédent, les adultes âgé·e·s auraient plus de difficultés à s'adapter et à maintenir un niveau modéré d'activation. Accomplir une tâche cognitive en plus de la gestion de la charge distractive d'une musique pourrait s'avérer d'autant plus difficile. Les études expérimentales qui explorent l'influence de l'écoute musicale sur les performances des adultes âgé·e·s présentent elles aussi une diversité de résultats. Parmi elles, certaines révèlent des effets négatifs. Reaves *et al.* (2016) ont ainsi montré que les performances en mémoire associative des adultes âgé·e·s entre 60 - 75 ans sont altérées par la diffusion de musique comparativement aux performances d'adultes de 18-30 ans. Notons que dans cette étude, les participant·e·s de tout âge déclaraient considérer la musique comme une source de distraction, contrairement à une condition silencieuse, et que

seuls les adultes âgés ont vu leurs performances affectées. D'autres études soutiennent une influence positive de l'écoute musicale sur les performances cognitives d'adultes âgés. Bottiroli *et al.* (2014) ont constaté que les adultes âgés (60 - 84 ans) bénéficiaient de l'écoute musicale lors de l'exécution de tâches en mémoire déclarative et sémantique comparativement à une condition de bruit blanc. Ferreri *et al.* (2014) ont également constaté un effet positif de la diffusion de musiques jazz et blues sur les performances en mémoire épisodique des adultes plus âgés (âge moyen ~ 64,5 ans) comparativement à du silence. Enfin, d'autres études encore ne montrent aucun effet d'amélioration ou de détérioration des performances cognitives, comme l'étude menée par Borella *et al.* (2019) dans laquelle les participant·e·s âgé·e·s entre 65-75 ans ne tirent aucun bénéfice de l'écoute d'une musique avant un entraînement de la mémoire de travail comparativement à une exposition préalable à du bruit blanc. Les études comparant l'influence de la musique sur les performances cognitives d'adultes jeunes et âgés font elles aussi face à une certaine diversité de résultats. Par exemple, l'absence d'effet d'une diffusion de musique relaxante ou stimulante comparativement à une condition silencieuse avait été observée sur les performances inhibitrices des adultes jeunes et âgés (Burkhard *et al.*, 2018). À l'inverse, Cloutier *et al.* (2020) ont récemment constaté qu'une musique classique relaxante interférait avec les performances en attention visuo-spatiale d'adultes jeunes (âge moyen ~24 ans) et âgés (âge moyen ~67 ans) comparativement à une musique stimulante ou à une condition silencieuse.

Une telle diversité de résultats pourrait une fois de plus trouver une explication dans la difficulté de prendre en compte les nombreux facteurs impliqués. Parmi les caractéristiques individuelles, le vécu émotionnel et affectif lié à l'écoute musicale semble lui aussi être modifié par le vieillissement, avec une tendance pour les personnes âgées à noter plus positivement des extraits musicaux que des adultes jeunes et à ne pas discriminer les différences d'état

d'activation induit entre des extraits musicaux évoquant une atmosphère paisible comparativement à une menaçante (Vieillard *et al.*, 2012).

Au-delà des études qui explorent l'influence de stimuli auditifs non-pertinents pour la réalisation d'une tâche cognitive, des scientifiques étudient l'importance des jugements métacognitifs des personnes sur leurs évaluations et leurs choix des conditions de travail, d'apprentissage ou d'étude. Ces travaux de recherche sont complémentaires aux recherches qui portent sur les préférences individuelles, d'une part car les jugements métacognitifs caractérisent la propension perçue d'un stimulus, comme une musique, à aider ou à distraire une personne pour réaliser une tâche, et d'autre part car par l'étude de l'incidence des jugements métacognitifs rétrospectifs, il a été prouvé un lien corrélational positif entre l'agrément perçue d'une musique et la susceptibilité de juger cette dernière comme améliorant les performances cognitives (Bell *et al.*, 2023b). Dans l'étude de Bell *et al.* (2023b), les performances cognitives objectives des participant·e·s en tâche de rappel sériel étaient impactées par la présence d'une musique, bien que cette dernière fût appréciée ou non. Dans une autre étude, Bell *et al.* (2023a) ont étudié la validité des jugements métacognitifs sur les effets de stimuli auditifs non pertinents pour la réalisation d'une tâche cognitive afin de valider une des deux théories suivantes : (1) celle de l'accès direct (traduit de *direct-access account*), selon laquelle les personnes font reposer leurs jugements métacognitifs sur l'accès direct et conscient des caractéristiques distractrices ou aidantes d'un stimulus auditif, et (2) celle du traitement fluide (traduit de *processing-fluency account*), selon laquelle les personnes font reposer ces mêmes jugements métacognitifs sur les expériences similaires passées, concluantes ou non. Selon ces deux théories, la répétition des stimuli distracteurs engendrerait des jugements métacognitifs de moins en moins négatifs à leur égard. Néanmoins, au contraire de l'explication de l'accès direct, la théorie du traitement fluide ne nécessite pas la connaissance des caractéristiques aidantes ou distractrices précises d'un stimulus, si bien qu'il est possible

qu'un individu ait des jugements métacognitifs s'opposant aux effets objectivement et scientifiquement prouvables d'un stimulus sur ses propres capacités. Par le biais de deux expérimentations, les scientifiques ont manipulé la fluidité de traitement d'extraits musicaux tout en conservant leur complexité musicale. Les scientifiques partaient du postulat que les personnes sont familières et habituées au son d'une musique jouée dans le sens normal d'écoute, autrement dit « en marche avant » et non inverse, c'est à dire « en marche arrière ». Par cela, les auteur·e·s ont souhaité créer une illusion de fluidité de traitement des stimuli musicaux et faisaient l'hypothèse que les participant·e·s auraient l'illusion de mieux réussir une tâche cognitive avec une musique « en marche avant » malgré sa complexité comparativement à cette même musique « en marche arrière ». Autrement dit, les scientifiques s'attendaient à ce que les participant·e·s jugent à tort une musique jouée « en marche avant » comme moins distrayante qu'une musique jouée « en marche arrière ». Bell *et al.* (2023a) ont ainsi démontré que l'expérience directe de l'exécution d'une tâche avec de la musique permettait d'atténuer l'illusion de jugement métacognitif sans l'éliminer. Autrement dit, les participant·e·s modifiaient leur jugement concernant le caractère distrayant d'une musique une fois l'expérience réalisée. Néanmoins, les participant·e·s jugeaient les mêmes musiques « en marche arrière » comme étant plus distrayantes que dans un mode d'écoute normal. Ainsi, les jugements métacognitifs de l'humain, au sujet de la favorabilité d'une musique à aider l'exécution d'une tâche cognitive, se basent sur un traitement fluide. La mise en évidence d'une telle illusion met en lumière les possibilités de mauvais jugements métacognitifs sur les conditions environnementales qui favoriseraient de bonnes performances cognitives.

Comme nous l'avions vu en début de cette sous-partie, cette pluralité de résultats peut s'expliquer par la grande diversité de méthodes employées, ainsi que par l'interaction des caractéristiques liées aux stimuli sensoriels, aux tâches réalisées, et aux individus. La revue

systematique recente au sujet de l'influence de l'ecoute musicale sur les capacites d'apprentissage realisee par de la Mora Velasco et Hirumi (2020) pointe 5 limites des etudes actuelles dans ce champ de recherche :

- La disparite des resultats et le manque d'etudes recentes.
- L'absence d'une procedure methodologique consensuelle et reproduite, le manque de constance dans les methodologies employees.
- Le manque de clarte sur les methodologies employees par les scientifiques.
- Les competences spatiales sont plus etudiees que les capacites d'apprentissages.
- L'absence de cadres theoriques pour soutenir l'identification des facteurs qui influenceraiient la relation entre ecoute musicale et apprentissage.

Ce travail de these tente d'apporter un eclairage qui prendrait en compte ces limites. L'absence de cadre theorique pour le soutien de l'identification des facteurs influençant la relation entre ecoute musicale et cognition trouve deja un echo dans certaines etudes recentes. Des scientifiques proposent notamment d'integrer l'impact de l'environnement sensoriel dans des modeles cognitifs preexistants et offrent ainsi la possibilite de penser l'influence de l'ecoute musicale sur les performances cognitives (Goltz & Sadakata, 2021 ; Gonzalez & Aiello, 2019). Nous les abordons dans la sous-partie suivante.

Modélisations de l'influence des musiques sur la cognition

Deux articles recents ont permis d'eclaircir la question de l'influence de l'ecoute musicale sur les performances cognitives en articulant certains modeles des performances cognitives entre eux, et en y integrant le role de l'ecoute musicale (Goltz & Sadakata, 2021 ; Gonzalez & Aiello, 2019). En reprenant la CCH de Kahneman (1973) presentee dans le chapitre

1 de cette introduction, Goltz et Sadakata (2021) proposent que l'écoute d'une musique puisse interférer avec la réalisation d'une activité. Par exemple, si une musique contient des paroles d'une langue familière, le traitement de cette information ferait appel aux mêmes ressources cognitives nécessaires à la lecture ou à l'apprentissage de vocabulaire. Dans ce cas précis, la musique avec paroles familières viendrait surcharger la capacité de traitement de l'information en saturant la boucle phonologique (Baddeley, 1996), interférant ainsi avec la tâche linguistique en-cours. Cette théorie permet aussi de soutenir les différences observées par l'utilisation de la musique en fond sonore en fonction de la difficulté et du type de tâche réalisée. Ainsi, les capacités cognitives allouées seraient ajustées en fonction des ressources nécessaires à la réalisation d'une tâche. Si la CCH donne des pistes théoriques expliquant les effets négatifs de l'écoute musicale sur les performances cognitives, il semble délicat d'expliquer par cette même théorie les effets positifs ou l'absence d'effet observés. Rappelons tout de même que la CCH postule que les capacités cognitives disponibles d'un individu, bien que limitées, évoluent en fonction de son état d'activation et qu'une activation modérément haute permettrait de résister plus convenablement aux distracteurs environnementaux.

À cela, la *Mood Arousal Hypothesis* (MAH, Husain *et al.*, 2002 ; Schellenberg, 2005 ; Schellenberg & Hallam, 2005 ; Thompson *et al.*, 2001) propose que l'écoute d'une musique considérée comme agréable renforce l'humeur positive et l'état d'activation des personnes, favorisant ainsi, avant la réalisation d'une tâche cognitive et sur le court terme, les performances (voir Figure 4). Une musique « trop » agréable pourrait aussi suractiver les personnes et ainsi entraver les performances cognitives. Enfin, l'écoute d'une musique désagréable impacterait négativement l'humeur et l'état d'activation, nuisant ainsi aux performances cognitives.

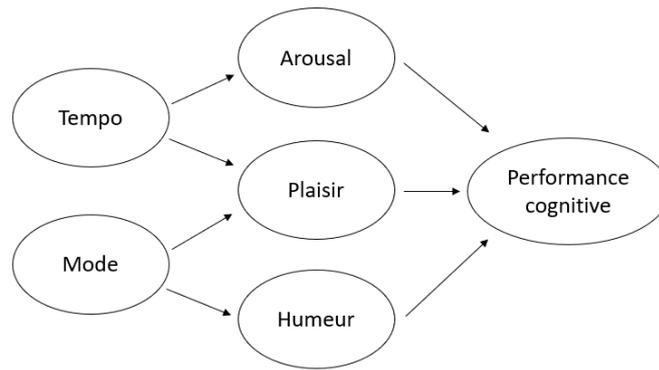


Figure 4 : Illustration du modèle de la *Mood and Arousal Hypothesis*, tiré et traduit de Husain *et al.* (2003). On retrouve les caractéristiques musicales, entretenant une relation unidirectionnelle avec l'état d'activation (*arousal*), le plaisir et l'humeur, eux-mêmes influençant la performance cognitive dans diverses tâches.

Cette théorie présente néanmoins certaines limites. D'une part, la MAH ne rend pas compte de l'utilisation réelle de musiques durant une activité puisqu'elle prend en compte l'écoute musicale avant la réalisation d'une tâche et non pas pendant. D'autre part, plusieurs études ont montré des résultats divergents de ce qui peut être attendu selon la MAH au sujet de l'effet de l'agréabilité. Alors que certaines études confortent le modèle de la MAH en montrant que des musiques désagréables ou à tempo élevé induisent des états d'activation trop intenses et exercent des influences négatives (Johansson *et al.*, 2012 ; Mansouri *et al.*, 2017), d'autres études comme celle de Perham et Sykora (2012), suggèrent qu'il est possible d'obtenir des meilleures performances cognitives avec des musiques désagréables peu familières comparativement à des musiques agréables et familières et ceci indépendamment de la difficulté de la tâche. Selon les auteur·e·s, l'effet de la musique sur les performances cognitives ne seraient pas du à la préférence mais plutôt aux propriétés musicales, notamment en termes de variations acoustiques. Au sujet de l'état d'activation, une étude récente de Scarratt *et al.* (2023) questionne son rôle, en montrant que les playlists en ligne identifiées ou décrites avec les mots

clés « pour étudier » ou « études » (*studying* et *study* dans l'article) partagent de très nombreuses caractéristiques musicales avec les playlists en ligne identifiées ou décrites avec les mots clés « pour dormir », « endormi » et « sommeil » (*sleeping*, *sleepy* et *sleep* dans la même étude). Autrement dit, les playlists labélisées comme propice au sommeil ou à la concentration sont réalisées sur des caractéristiques musicales semblables plaisantes et relaxantes, qui n'induiraient pas un état d'activation trop intense (Scarratt *et al.*, 2023). À cela s'ajoute le fait que des musiques énergisantes et stimulantes sont préférées par les participant·e·s lors de la conduite automobile ou durant des tâches répétitives, et leurs préférences musicales s'orientent plus vers des musiques instrumentales et calmes pour leur bien faits perçus comme relaxants pour étudier ou lire (Kiss & Linnell, 2021).

Une autre théorie est celle de l'*Irrelevant Sound Effect* (ISE, Beaman & Jones, 1997 ; Ellermeier & Zimmer, 2014 ; Jones, 1999). L'ISE propose qu'un stimulus auditif (qui peut être une musique) impacte négativement la réalisation d'une tâche quand deux conditions sont simultanément présentes : d'une part, la tâche à réaliser nécessite la mise en place d'opérations cognitives en séries (comme l'encodage et la récupération d'une information en mémoire, ou l'utilisation de la mémoire de travail pour réaliser un calcul mathématique), d'autre part le stimulus auditif présente des caractéristiques spécifiques, telles que de nombreuses variations acoustiques (Gonzalez & Aiello, 2019). Selon l'ISE, les variations acoustiques des stimuli auditifs se mêleraient avec les informations maintenues en mémoire de travail. La musique étant un stimulus auditif présentant de nombreuses variations acoustiques, l'hypothèse de l'ISE la considère donc comme un distracteur qui interférerait avec les processus mnésiques, attentionnels et exécutifs (Neath, 2000 ; Perham & Currie, 2014).

Pour autant, comme pour la critique des précédents modèles, de nombreuses études ont prouvé l'influence bénéfique de l'écoute musicale sur certaines fonctions cognitives lors de la

réalisation d'une tâche simple. Pour tenter d'expliquer cet effet, Gonzalez et Aiello (2019) proposent une révision de la *Distraction-conflict Theory* (DCT, Baron, 1986) en remplaçant le distracteur social par la présence d'une musique. Selon ce modèle révisé, la diffusion d'une musique durant une tâche simple permettrait de réajuster le niveau attentionnel. Ce réajustement permettrait de maintenir l'investissement actif de l'individu dans la réalisation de cette tâche simple, et ainsi d'éviter que son attention ne dévie. Autrement, la musique entrerait en conflit et interférerait négativement lorsque la tâche à réaliser serait difficile. Au-delà de cet aspect purement cognitif, la DCT se lie aisément au modèle de la MAH en proposant que l'état d'activation serait réhaussé par les conflits attentionnels, suscitant des états de stress (en tâche difficile) qui nuiraient à l'aboutissement de la tâche, ou d'activation modérément haute (en tâche simple) qui aideraient au maintien attentionnel de l'exécutant·e.

De nombreuses autres recherches se référant à ces cadres théoriques sont nécessaires pour mettre en lumière toute la diversité des facteurs impliqués dans l'influence tantôt positive, tantôt négative, tantôt non détectée de l'écoute musicale sur les performances cognitives et notamment exécutives. Actuellement, aucun modèle cognitif ne fournit une explication qui pourrait englober l'ensemble des résultats expérimentaux, et un modèle cognitif qui intégrerait les différentes propositions théoriques présentées pourrait être pertinent. Si ce travail de recherche tente d'apporter une réponse par l'étude des effets de stimulation auditives musicales, ce dernier a pour ambition d'explorer plus largement des effets de l'environnement multisensoriel sur le fonctionnement exécutif. En plus d'une dimension musicale, c'est donc la dimension olfactive qui est, elle aussi, au centre de cette thèse.

2.2 Olfaction, cognition et FEs

Contextualisation et neurobiologie de l'olfaction

Bien que cela soit encore considéré comme une curiosité, voire ignoré par la très grande majorité de la population, les odeurs peuvent être, comme les musiques, diffusées en un clic sur nos *smartphones* (Huang & Chen, 2023 ; Maggioni *et al.*, 2018). La diffusion spontanée et fréquente d'odeurs n'est pas encore équivalente à celle de musiques, mais le développement des technologies olfactives suit son cours (Maggioni *et al.*, 2019 ; Matsukura *et al.*, 2013 ; Obrist *et al.*, 2014 ; Spence *et al.*, 2017), alors même que l'importance du sens olfactif reste largement sous-estimée dans nos sociétés occidentales contemporaines (Herz & Bajec, 2022 ; Schifferstein, 2006 ; Wrzesniewski, 1999). La pandémie de SARS-CoV-2 avait donné un regain scientifique et médiatique aux thématiques liées à l'olfaction (Dikecligil & Gottfried, 2024 ; Walker *et al.*, 2020), notamment avec les conséquences engendrées par l'anosmie, la perte de l'odorat, et les parosmies, les troubles de détection et d'identification des odeurs (Juratli *et al.*, 2023 ; Miwa *et al.*, 2023), sur la qualité de vie des personnes atteintes par ce virus (Burges Watson *et al.*, 2021 ; Ferdenzi *et al.*, 2021). Pourtant, l'importance revêtue par la sensibilité olfactive auprès de la population générale semble s'être de nouveau éclipsée (Herz & Bajec, 2022). Par exemple, lorsqu'il leur était demandé de désigner un sens à abandonner, les participant·e·s choisissaient en très grande majorité l'olfaction, plutôt que la vision ou l'audition (Herz & Bajec, 2022). Les personnes jeunes (âge moyen ~22 ans) étaient d'autant plus à même d'abandonner leur sensibilité olfactive comparativement aux personnes plus âgées (âge moyen ~48 ans). Un quart des personnes jeunes était plus disposé à renoncer à son odorat pour la conservation de son téléphone portable ou au profit d'une somme d'argent équivalente à 10 000 dollars américains. Plus étonnant encore (ne serait-ce que par la question posée), les participant·e·s étaient plus disposé·e·s à sacrifier leur sens olfactif plutôt que leur petit orteil

gauche, alors que ce même orteil devenait sacrificable si cela permettait de conserver la vue ou l'ouïe. Le peu d'engouement pour la modalité sensorielle olfactive est entretenue par la prédominance de la modalité visuelle dans nos sociétés occidentales (Hutmacher, 2019), mais aussi par les méconnaissances et les mythes qui dévalorisent les capacités olfactives humaines (McGann, 2017). L'olfaction est un sens qui se développe précocement chez l'humain et vient en soutien au développement de la vision (Rekow & Leleu, 2023 ; Schaal *et al.*, 2020), la perception d'odeurs est aussi à l'origine de comportements de survie qui permettent de détecter et d'approcher une source nutritionnelle ou d'éviter un potentiel danger (Wilson & Stevenson, 2006). Ainsi, l'olfaction entretient des liens étroits avec les comportements alimentaires (H. Yu *et al.*, 2024). Les odeurs sont aussi des marqueurs culturels et identitaires importants (Boswell, 2008 ; Majid, 2015), elles participent à notre vie sociale et procurent des indices sanitaires importants lorsqu'elles sont corporelles (Schwambergová *et al.*, 2024), elles imprègnent les arts (Bembibre & Strlič, 2017 ; Spence, 2020), influencent l'état émotionnel (Villemure *et al.*, 2003), et leurs perceptions sont au centre de stratégies de *marketing* sensoriel pour tenter d'influencer les comportements des consommateurs et consommatrices (Doucé & Janssens, 2013 ; Nibbe & Orth, 2017 ; Spence, 2015 ; Teller & Dennis, 2012). L'anecdote littéraire de la madeleine de Proust illustre un phénomène émotionnel et mnésique que tout un chacun a déjà pu expérimenter : une odeur peut provoquer la reviviscence d'une émotion liée à un souvenir autobiographique particulier. De nombreuses recherches étayent le fait que l'émotion évoquée par une odeur peut être particulièrement intense, et que le souvenir retrouvé par la stimulation olfactive pouvait être lié à des moments de vie très anciens, appartenant parfois aux dix premières années de vie (Chu, 2000 ; Herz, 2016 ; Jellinek, 2004 ; Larsson *et al.*, 2014 ; Rubin *et al.*, 1984 ; Toffolo *et al.*, 2012 ; Willander & Larsson, 2006, 2007). Un tel phénomène trouve notamment une explication neuroanatomique, car le traitement de l'information olfactive partage des substrats neuronaux communs aux traitements des émotions et de la mémoire (Herz,

2016 ; Larsson *et al.*, 2014 ; Toffolo *et al.*, 2012 ; Willander & Larsson, 2007). Bien que le cortex piriforme soit reconnu comme une structure cérébrale primaire dans le traitement de l'information olfactive (Gottfried, 2010 ; Vaughan & Jackson, 2014), l'activation des amygdales et des hippocampes n'est pas spécifique à l'olfaction et se retrouve dans le traitement émotionnel pour l'un (Krusemark *et al.*, 2013), et mnésique pour l'autre (Arshamian *et al.*, 2013 ; Buchanan *et al.*, 2003).

Le traitement de l'information olfactive partage aussi des connexions privilégiées avec le cortex frontal, zone cérébrale considérée comme le siège des FEs (Campbell Arnold *et al.*, 2020 ; Plailly *et al.*, 2007a). Kostka et Bitzenhofer (2022) proposent un schéma simplifié des connexions principales entre le système olfactif et le système cognitif (voir Figure 5) et permet d'illustrer les liens forts entretenus entre CPF et système olfactif, avec le cortex entorhinal latéral comme structure cérébrale au carrefour de cette interaction. Les auteur·e·s précisent que contrairement aux autres sens, le système neuronal olfactif ne dispose pas de liens thalamiques de premier ordre, au profit de liaisons directes avec les structures hippocampiques.

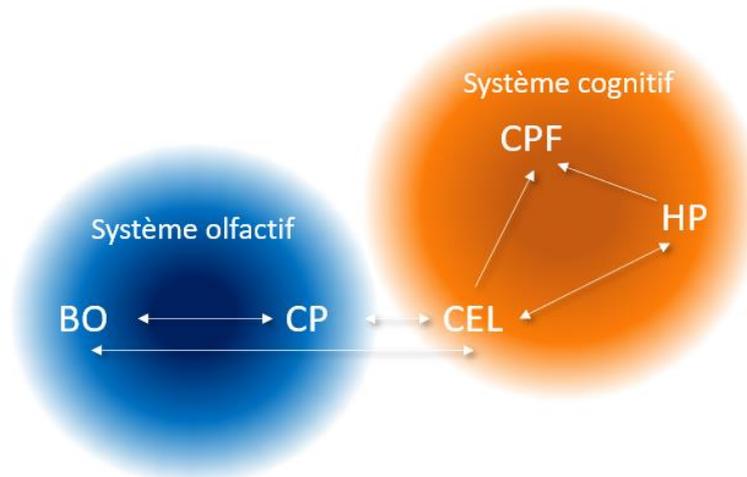


Figure 5 : Reproduction du schéma de Kostka et Bitzenhofer (2022) illustrant les principales connexions entre le système olfactif et le système cognitif, avec le cortex entorhinal latéral

comme zone médiatrice entre les deux systèmes (BO – bulbe olfactif ; CP – cortex piriforme ; CEL – cortex entorhinal latéral ; CPF – cortex préfrontal ; HP – hippocampe).

Les liens fonctionnels neuronaux entre FEs et olfaction sont notamment mis en lumière par des études empiriques de diverses pathologies. Par exemple, les patient·e·s adultes diagnostiqué·e·s avec un trouble de l'attention et hyperactivité présentent de moins bonnes capacités en identification des odeurs comparativement à un groupe contrôle (Murphy *et al.*, 2001). Aussi, les déficits olfactifs des personnes avec un diagnostic de maladie de Parkinson semblent être directement associés à la perte d'efficacité des FEs, illustrant les liens neuronaux entre traitement olfactif et FEs (Solla *et al.*, 2023).

Alors que pour Sabiniewicz *et al.* (2021) les FEs et la vitesse de traitement de l'information sont de faibles prédicteurs des capacités en discrimination olfactive, l'étude réalisée par Fagundo *et al.* (2015) met en évidence que des personnes hyposmiques réalisent des performances exécutives inférieures aux personnes normosmiques lors de la réalisation des tâches évaluant les FEs. Les capacités d'identification olfactive seraient corrélées positivement aux compétences linguistiques, et les capacités de discrimination et d'identification des odeurs seraient toutes deux associées aux capacités en mémoire sémantique, épisodique et au fonctionnement exécutif (Hedner *et al.*, 2010 ; Westervelt *et al.*, 2005). Schlintl et Schienle (2023) ont notamment montré que les difficultés éprouvées par les adultes âgés (âge moyen ~76 ans) pour récupérer une information en mémoire olfactive étaient associées à de moindre capacités d'identification olfactive et exécutives comparativement aux adultes jeunes (âge moyen ~24 ans). La récente revue systématique de Challakere Ramaswamy et Schofield (2022) conclut que les performances olfactives d'identification, de discrimination et de détection sont associées positivement au contrôle inhibiteur et à la flexibilité mentale. En comparaison à une

norme standardisée, l'altération des capacités olfactives, notamment d'identification, à un âge avancé, a des retentissements négatifs sur la vitesse de traitement perceptif, la mémoire épisodique et les FEs (Devanand, 2016 ; Devanand *et al.*, 2015 ; Wilson *et al.*, 2006 ; Yahiaoui-Doktor *et al.*, 2019), et est associée à un déclin cognitif rapide dans le cas de pathologies neurodégénératives (Dintica *et al.*, 2019 ; Sohrabi *et al.*, 2012). C'est donc sans surprise que les tests des capacités olfactives peuvent être proposés en complément de bilans neuropsychologiques standards (Hummel *et al.*, 2007 ; Segura *et al.*, 2013).

Néanmoins, si de nombreuses recherches empiriques sont menées pour tenter de comprendre comment les capacités olfactives permettent de renseigner l'état cognitif des individus, les recherches expérimentales sur l'impact des perceptions olfactives sur nos performances exécutives sont plus rares. Elles sont pourtant nécessaires pour une meilleure compréhension de l'influence de nos environnements sensoriels sur notre cognition, mais aussi pour le développement de pratiques qui permettraient d'influencer positivement les capacités exécutives des personnes de tout âge.

Odeurs, performances cognitives et exécutives

Tout comme la musique, l'étude des effets des odeurs sur les FEs est peu abordée dans la littérature scientifique. En conséquence, nous abordons dans cette sous-partie les études ayant exploré les effets d'odeurs ou d'odorants sur les performances cognitives dans leur ensemble. Le but est de mieux comprendre leurs effets, leurs modélisations et ainsi réaliser des inférences sur les FEs. Ces études pourraient être classées en deux catégories : les études qui utilisent des huiles essentielles, et les études qui utilisent des odorants de synthèses. De nombreuses recherches en aromathérapie mettent en avant les bénéfices liés à la diffusion d'huiles essentielles de divers végétaux, notamment sur la thymie et la cognition (Cho & Kim, 2023 ; Lehrner *et al.*, 2000). Selon ces études, ces bénéfices s'expliqueraient par la pénétration dans

la circulation sanguine des composants moléculaires présents dans les huiles essentielles, et ceci notamment par inhalation. Par exemple, dans l'étude de Lwin *et al.* (2021), les performances cognitives des participant·e·s sont évaluées, ainsi que certaines constantes physiologiques lors de la diffusion d'une odeur de menthe poivrée. Selon les auteur·e·s, l'augmentation de la pression sanguine et de la saturation du sang en oxygène induites par « l'odeur » induirait et maintiendrait un état d'activation modérément haut durant toute la durée de la tâche cognitive, aidant ainsi les performances cognitives. Néanmoins, comme pour la musique, étudier l'influence d'une perception olfactive sur les performances cognitives nécessite une sélection préalable des stimuli olfactifs. Cette sélection peut être réalisée selon les caractéristiques chimiques d'un odorant, permettant notamment la reproductibilité et la comparaison des études. Cependant, les études qui explorent les effets de l'aromathérapie n'apportent bien souvent aucune précision au sujet des stimuli olfactifs utilisés dans les articles scientifiques dédiés. De manière générale, de nombreuses limites méthodologiques des études prouvant les bénéfices de l'aromathérapie par inhalation ont été avancées, telles que les outils de mesures utilisés, l'absence des dosages et d'autres renseignements comme les variétés de plantes utilisées, les sources d'approvisionnement et autres données qui permettraient de garantir la fiabilité et la reproductibilité scientifique de ces recherches (Hedigan *et al.*, 2023 ; Herz, 2009 ; Johnson, 2011). Parce que les huiles essentielles sont composées d'une multitude de molécules odorantes et non odorantes, et parce que leur composition varie selon les plantes utilisées et selon leurs conditions de culture, ce travail de thèse ne peut reposer sur un tel matériel.

Lorsque des odorants synthétisés en laboratoire sont utilisés, les scientifiques opèrent une sélection des stimuli olfactifs en se basant sur un ensemble de caractéristiques perceptives principales telles que l'agréabilité, l'irritabilité et la familiarité perçues d'une odeur, ainsi que l'état d'activation induit par celle-ci (Baron, 1990 ; Baron & Bronfen, 1994 ; Baron & Thomley,

1994 ; Bensafi *et al.*, 2002 ; Millot & Brand, 2001 ; Moskowitz *et al.*, 1976 ; Moss *et al.*, 2016 ; Vieillard *et al.*, 2021 ; Zellner *et al.*, 2014). Il est par ailleurs intéressant de noter que ces caractéristiques perceptives sont également utilisées pour décrire les stimuli musicaux (Goltz & Sadakata, 2021 ; Schellenberg & Hallam, 2005 ; Thompson *et al.*, 2001 ; van den Bosch *et al.*, 2013), et qu'elles s'influencent (Bensafi *et al.*, 2002 ; Distel *et al.*, 1999). L'étude de Toet *et al.* (2020) montre par exemple que l'agrément perçue et l'état d'activation induit par la perception olfactive entretiennent une relation non linéaire en U : lorsque l'odeur est perçue comme agréable ou désagréable, l'état d'activation est noté comme plus important comparativement à une odeur perçue comme n'étant ni agréable ni désagréable.

Bien que la compréhension des caractéristiques des odeurs et des odorants soit fondamentale pour accéder à une méthodologie commune entre toutes les recherches, il est nécessaire de prendre en compte les dimensions émotionnelle et affective des odeurs, car ces dernières influencent nos comportements et notre cognition (Chrea *et al.*, 2009 ; Ferdenzi, *et al.*, 2013a & b ; Herz, 2002 ; Porcherot *et al.*, 2010). Semblable aux études qui explorent la relation entre musique et cognition, la prise en considération de l'interaction entre trois facteurs principaux – nous venons d'aborder les caractéristiques des stimuli, il reste donc les caractéristiques de la tâche à effectuer et des individus – semble inévitable pour tenter de comprendre et d'identifier les processus impliqués.

Concernant les tâches cognitives, le contenu émotionnel des odeurs module les performances mnésiques (Ehrlichman & Halpern, 1988 ; Glachet *et al.*, 2019 ; Herz, 1998 ; Rasch *et al.*, 2007 ; Saive *et al.*, 2014), d'apprentissage (Epple & Herz, 1999 ; Herz *et al.*, 2004), d'écriture (Baron & Bronfen, 1994 ; Baron & Thomley, 1994), de reconnaissance de mots émotionnels (Li & Wang, 2021), d'inhibition (Finkelmeyer *et al.*, 2010), de sentiment d'auto-efficacité (traduit de self-efficacy, Baron, 1990), attentionnelles (Michael *et al.*, 2003 ; Warm *et al.*, 1991), de temps de réaction (Millot *et al.*, 2002), ou encore de perception de la hauteur

acoustique de la voix (Millot & Brand, 2001), du temps (Baccarani *et al.*, 2021 ; Millot *et al.*, 2016 ; Schreuder *et al.*, 2014) et du tempo musical (Baccarani & Brochard, 2023 ; Millot & Brand, 2001). Semblable à la littérature scientifique qui explore la relation cognition-musique, la difficulté de la tâche semble être un facteur important à prendre en compte. Rotton (1983) montre notamment qu'une tâche cognitive est moins bien réalisée lorsque celle-ci est difficile comparativement à une tâche simple lors de la diffusion d'une odeur jugée comme désagréable. Aussi, Millot *et al.* (2002) montrent que les temps de réponse lors de la réalisation d'une tâche simple (unimodale, visuelle ou auditive) décroissent lors de la présence d'odorants comparativement à une condition sans odorant. Cette différence n'est pas retrouvée lors de la réalisation d'une tâche difficile (multimodale, auditive avec distracteurs visuels).

Au sujet des caractéristiques individuelles, l'appartenance culturelle est reconnue comme pouvant influencer l'agréabilité et l'intensité perçue d'un odorant, mais aussi la catégorisation des odeurs et les descripteurs utilisés pour décrire la sensation olfactive (Ayabe-Kanamura *et al.*, 1998 ; Chrea *et al.*, 2004 ; Ferdenzi *et al.*, 2011 ; Hudson, 1999). L'importance de l'appartenance culturelle comme facteur influençant l'agréabilité perçue d'une odeur a récemment été remise en question par l'étude de Arshamian *et al.* (2022), soutenant que la variance des scores d'agréabilité perçue d'une odeur ne dépendait que de 6% du facteur culturel, quand 54% de cette même variance était expliquée par les préférences et goûts des individus. Les habitudes de vie semblent aussi avoir un impact sur la perception olfactive, comme la consommation de tabac (Katotomichelakis *et al.*, 2007) ou encore l'expertise olfactive, notamment par une spécialisation professionnelle en parfumerie (Royet *et al.*, 2013). La variable du genre est aussi considérée comme une caractéristique influençant la perception olfactive (Croy *et al.*, 2017 ; Murray *et al.*, 2013 ; Sorokowski *et al.*, 2019) même si cet effet du genre pourrait en réalité être lié à des différences entre l'auto-évaluation des compétences olfactives des femmes et des hommes (Chao *et al.*, 2022 ; Larsson *et al.*, 2000). Notons que les

études qui explorent l'influence du genre ne font pas nécessairement converger une définition claire du phénomène étudié, étant tour à tour une variable sociale, cognitive ou hormonale, tantôt nommé *gender*, tantôt nommé *sex*. Ce manque de clarté et de constance du terme employé pour un même objet d'étude ne permet donc pas à ce jour de comprendre l'influence du genre sur les perceptions olfactives.

Enfin, l'avancée en âge influence les capacités olfactives, avec des scores d'identification moindre pour les enfants et les personnes âgées entre 60 et 65 ans (Hummel *et al.*, 2007 ; Sorokowska *et al.*, 2015 ; Thomas-Danguin *et al.*, 2003). De façon semblable aux stimuli musicaux, la valence et les affects ressentis en lien avec les odeurs sont aussi modifiés avec l'avancée en âge. Les personnes âgées (âge moyen ~70 ans) seraient plus susceptibles de juger les odeurs désagréables comme étant moins désagréables comparativement aux jeunes adultes (Vieillard *et al.*, 2021), et ce phénomène pourrait être dû à une réduction du biais de négativité et d'une dédifférenciation émotionnelle (c'est-à-dire une plus forte association entre valence et état d'activation).

Comme pour la musique, l'intégration des facteurs et de leurs interactions, permettant ainsi de comprendre l'influence des odeurs sur la cognition humaine, est complexe. Johnson l'aborde dans son article en 2011. Sur la base des réflexions faites par Jellinek (1997), Johnson (2011) propose quatre explications possibles aux effets tantôt négatifs tantôt positifs de la diffusion d'odorants et de la perception d'odeurs sur les performances cognitives. En lien avec les caractéristiques de l'odeur, la première explication renvoie aux propriétés moléculaires de certains odorants et de leur inhalation, sans que cette dernière ne puisse apporter à ce jour de preuves tangibles. La deuxième hypothèse fait un pont entre les caractéristiques de l'odeur et celles de l'individu, elle est en lien avec l'amélioration ou la dégradation de l'état thymique. Le traitement de l'information olfactive partageant de forts liens avec celui des émotions, une amélioration de l'humeur via une stimulation olfactive impacterait positivement les

performances cognitives. À l'inverse, une détérioration de l'humeur via une stimulation olfactive dégraderait les performances cognitives. Pourtant, Johnson met en garde contre d'une part, la difficulté de prouver empiriquement le lien causal entre une élévation de l'humeur et de meilleures performances cognitives, et d'autre part, que les expériences olfactives passées peuvent modifier la perception de ces dernières, rendant possible et probable un décalage entre perception et évaluation de l'odeur, réponse affective et amélioration cognitive (Mandairon & Linster, 2009). Par ailleurs, l'auteur oppose un autre argument à cette hypothèse en rappelant que certaines études ont prouvé l'influence négative d'odeurs plaisantes sur des tâches de vigilance et d'attention. La troisième explication proposée par Johnson (2011) est en lien direct avec les caractéristiques de l'individu, à savoir celle de l'attente d'un effet des odeurs sur la cognition. L'auteur présente notamment les études de Moss *et al.* (2006) dans lesquelles la croyance en un effet spécifique d'une odeur accentue ou inverse ce même effet, et l'étude de Howard et Hugues (2008), dans laquelle la suggestion des bienfaits relaxants d'une odeur entraîne chez les participant·e·s une modification de la conductance cutanée, en comparaison à une suggestion de propriétés antagonistes à la relaxation. La dernière proposition de Johnson pour tenter d'expliquer les effets des odeurs sur les performances cognitives est encore plus ancrée dans les caractéristiques de l'individu, car en lien direct avec les expériences passées. Selon l'hypothèse de la congruence contextuelle et sémantique, une association passée entre une odeur et un comportement ou une émotion, impacterait la cognition lors de la présentation renouvelée de l'odeur. L'étude de Araujo *et al.* (2005) y est citée en exemple : un même odorant (dans cette étude, l'acide isovalérianique mélangé à un arôme de cheddar) n'évoquera pas la même émotion et représentation mentale si celui-ci est présenté comme une odeur de fromage ou une comme odeur corporelle.

Bien que ces propositions permettent de penser l'influence des odeurs sur les performances cognitives, il semblerait opportun de replacer les résultats des recherches expérimentales en olfaction-cognition dans des modèles cognitifs déjà établis.

Tentatives de modélisations de l'influence des odeurs sur la cognition

Les études de l'influence des odeurs sur les performances cognitives font l'objet de quelques propositions théoriques sans que des modèles n'aient été véritablement formulés et construits, a contrario des études de l'influence de l'écoute musicale sur les performances cognitives. Grâce aux propositions de Johnson (2011) et aux études empiriques réalisées, il est possible d'intégrer l'influence des stimuli olfactifs dans les modèles cognitifs présentés précédemment. Les modèles qui suivent sont donc des propositions, ils s'inspirent des modèles cognitifs de l'interaction musique-cognition et n'ont en aucun cas été discutés avec des pairs expert·e·s.

Lorsque Goltz et Sadakata (2021) reprennent la CCH de Kahneman (1973) et font la proposition que l'écoute d'une musique puisse interférer avec la réalisation d'une activité, les scientifiques font l'hypothèse que cette interférence est la conséquence de l'activation de processus cognitifs communs entre le traitement de l'activité en cours et celui dédié à la musique. Les caractéristiques musicales telles que la présence de paroles, la complexité, le volume, le rythme et encore bien d'autres, seraient autant de facteurs perturbateurs en fonction de la nature de la tâche réalisée. De telles caractéristiques ne sont pas retrouvées chez les odorants, il paraît donc difficile aujourd'hui de soutenir que le traitement cognitif de l'information olfactive puisse interférer avec la tâche en cours sur la base de processus cognitifs communs. Néanmoins, la CCH propose que les capacités cognitives disponibles d'un individu évoluent en fonction de son état d'activation. Parce que la perception olfactive entretient des liens forts avec le traitement émotionnel et affectif (Bensafi *et al.*, 2002 ; Herz, 2002 ; Kontaris

et al., 2020 ; Moss *et al.*, 2006 ; Toet *et al.*, 2020), les odeurs pourraient donc influencer indirectement la quantité de capacités disponibles en modifiant l'état d'activation des individus. Le lien entre valence de l'odeur et performances cognitives est proposé par Johnson (2011) sur la base de nombreux travaux de recherche, notamment ceux de Baron *et al.* en 1990 et 1994. L'hypothèse se rapproche de la MAH (Husain *et al.*, 2002 ; Thompson *et al.*, 2001) en transposant les odeurs aux musiques, et propose que la perception d'une odeur considérée comme agréable induit un état affectif et émotionnel positif bénéfique aux performances cognitives. Cette proposition, tout comme la MAH, fait face à plusieurs limites. Des travaux empiriques ont montré qu'une amélioration des performances cognitives peut être observée en l'absence d'élévation de l'humeur liée à une stimulation olfactive (Moss *et al.*, 2008), que la sensation trigéminal induite par certains odorants pouvait aussi influencer les performances cognitives (Lombion *et al.*, 2009), ou encore que des odeurs déplaisantes permettent d'obtenir des performances cognitives améliorées (Boesveldt *et al.*, 2010). La MAH fait l'hypothèse qu'une musique agréable pourrait aussi suractiver les personnes et compromettre ainsi les performances cognitives, mais il semble difficile de transposer cette proposition aux odeurs. Les études de Brauchli *et al.* (1995) et Bensafi *et al.* (2002) ont notamment prouvé qu'une présentation d'une odeur déplaisante augmente le rythme cardiaque et la conductance cutanée, alors que l'inverse est mesuré lors d'une exposition à une odeur plaisante.

Comme vu pour la musique, la MAH peut aisément se lier à la DCT (Baron, 1986, révisée par Gonzalez & Aiello, 2019). Pour rappel, la DCT postule que l'état d'activation des individus est réhaussé lors de conflits attentionnels, suscitant ainsi des états de stress qui nuiraient à l'aboutissement de tâches difficiles, mais qui aideraient au maintien de l'attention lors de tâches simples. Si cette théorie est soutenue par certaines études empiriques qui explorent l'effet de la diffusion de musiques lors de tâches cognitives de difficulté variée, il semble plus ardu de proposer une telle hypothèse pour tenter de modéliser l'effet de la perception d'odeurs lors de

la réalisation de tâches simples ou complexes. Bien que les résultats des études de Rotton (1983), de Millot *et al.* (2002) ou encore de Warm *et al.* (1991) puissent être compris comme un argument en faveur d'une DCT transposable à la stimulation olfactive, l'étude de Ho et Spence (2005) soutient le contraire. Dans leur étude, les deux scientifiques proposent que l'odeur de menthe poivrée, obtenue par le biais d'un odorant synthétique, agit non pas en augmentant la capacité de vigilance, mais plutôt en favorisant l'état de concentration, et ceci spécifiquement en double tâche, comparativement à une tâche de détection visuelle séquentielle plus simple à réaliser. Selon les auteur·e·s, une augmentation de l'état de vigilance se serait traduite par une réduction du temps de réponse sans amélioration des scores de précision. Or, les scores de vigilance en tâche simple n'ont pas bénéficié de la présence d'odorants. Ce sont les performances en double tâche qui ont été améliorées, et ceci en condition incongruente, qui est la version de la condition la plus complexe. Il est important de noter que lors de la double tâche, la réponse des participant·e·s était dépendante d'un traitement d'une information non pas unisensorielle, mais multisensorielle. Ainsi, selon Ho et Spence, l'odeur de menthe poivrée permettait d'améliorer l'exactitude des réponses des participant·e·s en agissant favorablement sur la capacité d'inhibition de réponses prépondérantes lors d'une tâche complexe nécessitant le traitement d'informations multisensorielles.

Il semble donc qu'aucun modèle, à l'heure actuelle, ne puisse modéliser l'effet des odeurs sur les performances cognitives. L'apport de données empiriques permettrait d'aider la construction d'un tel modèle. De plus, nos environnements sont multisensoriels, il semble donc essentiel d'en étudier également l'effet. Ainsi, bien que les effets des musiques et des odeurs fassent encore actuellement l'objet de débats scientifiques, leur utilisation dans des *designs* multisensoriels est grandissant (Crisinel *et al.*, 2013 ; Crisinel & Spence, 2012 ; Deroy *et al.*, 2013 ; Rey *et al.*, 2023 ; Spence, 2020d, 2020a, 2020c ; Velasco *et al.*, 2014 ; Velasco & Spence, 2022). La dernière sous-partie de ce cadre théorique est dédiée aux études des environnements multisensoriels,

notamment olfacto-auditifs, et de leur importance dans la compréhension de l'influence de notre environnement sensoriel sur notre cognition.

2.3 Expériences multisensorielles, cognition et FEs

Définition et contextualisation

La plus ordinaire des expériences suppose l'interaction de différentes modalités sensorielles (Velasco & Obrist, 2020). En résonance avec le constat de la prédominance de la sensibilité visuelle dans nos sociétés occidentales, les études qui investissent cette approche revendiquent la nécessité d'ouvrir l'exploration de nos autres sens pour favoriser le développement d'outils et d'espaces qui accompagneraient notre développement social, cognitif et émotionnel (Baines, 2008 ; Spence, 2020c, 2020b, 2022 ; Vi *et al.*, 2017). Les expériences multisensorielles permettent aussi de créer des ponts entre sciences et arts, comme ce fut le cas avec l'expérience *Tate Sensorium* (Obrist *et al.*, 2017 ; Pursey & Lomas, 2018). Cette installation permettait aux visiteurs et visiteuses d'avoir une expérience multisensorielle dans laquelle les sensibilités tactile, auditive, gustative, visuelle et odorante étaient mises à contribution pour l'exploration des peintures exposées. Il est important de noter que cette exposition intégrait les 5 sens les plus connus, sans faire l'impasse sur l'olfaction. Parce que leur diffusion et leur modulation ne sont pas aussi facilement manipulables que celles d'un son, d'une lumière ou d'une saveur, les odeurs sont parfois absentes des *designs* multisensoriels (Maggioni *et al.*, 2019). Pourtant, comme chaque stimulus qui recouperait ou réaffirmerait une information fournie par une autre modalité sensorielle, les odeurs ont elles aussi un rôle important dans le développement des processus d'intégration multisensorielle, et ceci dès la naissance (Rekow & Leleu, 2023 ; Schaal & Durand, 2012) : l'olfaction soutient notamment le

développement de la catégorisation visuelle jusqu'au début de la puberté, et aide cette dernière lorsque les stimuli visuels sont ambigus à l'âge adulte (Rekow & Leleu, 2023).

Selon Matthew Fulkerson (2020), nos expériences multisensorielles ne sauraient se résumer à l'unification et la liaison de nos différentes perceptions sensorielles, mais elles seraient en plus « le résultat de combinaisons légèrement plus complexes de différents systèmes sensoriels » [traduction libre] (Sathian & Ramachandran, 2020, p. 54). Ces combinaisons sensorielles complexes sont observables dans de multiples situations expérimentales et de vie quotidienne, qu'il s'agisse de l'influence visuelle de colorants alimentaires sur la perception gustative (Spence *et al.*, 2010), de la déformation de phonèmes par l'influence d'une lecture labiale involontaire et automatique (McGurk & MacDonald, 1976), de l'influence de stimulations tactiles, proprioceptives, et visuelles sur le ressenti d'incarnation d'un membre factice (Bartoletti *et al.*, 2023 ; Botvinick & Cohen, 1998), ou encore de la correspondance entre la forme d'un objet et d'un son (Ramachandran & Hubbard, 2001). Par exemple : sur l'image ci-dessous (voir Figure 6), quelle forme serait Bouba, et laquelle serait Kiki ?

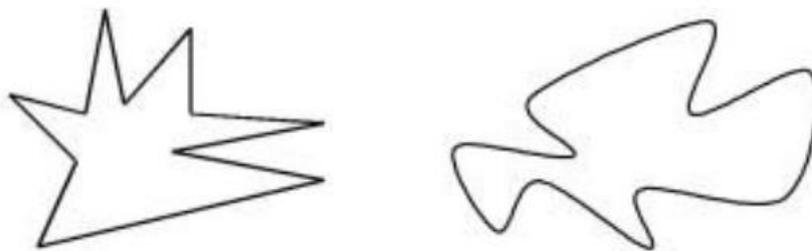


Figure 6 : Illustration tirée de Ramachandran et Hubbard (2001).

Selon Ramachandran et Hubbard (2001), 95% des personnes interrogées désignent Bouba comme la forme située à droite, et Kiki comme la forme située à gauche. La forme à gauche possède des angles obtus et des segments en ligne droite, le tout formant des changements de direction soudains qui imitent les inflexions sonores du son « kiki », mais aussi

les inflexions de la langue sur le palais pour émettre ce même son. Les scientifiques ont notamment constaté que cette très forte correspondance multisensorielle entre le son et la forme, appelée *bouba/kiki effect*, était indépendante des cultures et des langues écrites (Ćwiek *et al.*, 2022). L'effet *bouba/kiki* a été répliqué dans un certain nombre d'études avec des variantes de consonnes, de voyelles (Fort *et al.*, 2015) et a même été retrouvé dans la correspondance multisensorielle gustative et auditive (Gallace *et al.*, 2011). Ces correspondances multisensorielles peuvent être expliquées par le phénomène de l'intégration multisensorielle.

Intégration multisensorielle, approche Bayésienne et vieillissement

L'intégration multisensorielle désigne un ensemble de processus neuronaux impliqués dans la combinaison et la fusion des informations sensorielles (Stein & Meredith, 1993). Ces processus d'intégration multisensorielle synthétisent les informations provenant de stimuli intermodaux. En fonction de leur fiabilité relative, des processus intègrent ces informations en représentations cohérentes de notre environnement (Stein & Stanford, 2008). En rassemblant différents percepts, ces processus d'intégration assurent une perception fiable et robuste de l'environnement (Ernst & Bühlhoff, 2004 ; Fang *et al.*, 2019). Deux grandes théories investissent le champ de l'étude de l'intégration multisensorielle (Spence, 2023). L'une est la *Feature Integration Theory*, développée par Anne Treisman (Treisman, 1986), dont la notion centrale est que l'attention est nécessaire à la liaison des informations sensorielles d'un stimulus, et dans laquelle toutes les informations visuelles (couleurs, formes, mouvements) étaient traitées en même temps (Spence & Frings, 2020). L'autre, plus récente et faisant de plus en plus d'adeptes, est une alternative Bayésienne, une approche probabiliste de l'intégration multisensorielle (Ernst & Banks, 2002). Si les stimulations sensorielles sont assemblées selon leur cohérence temporelle et spatiale (Del Gatto *et al.*, 2023), l'approche Bayésienne va au-delà de la nécessité de cette congruence en y ajoutant deux autres facteurs : l'incertitude sensorielle

et les expériences perceptives antérieures (Deneve & Pouget, 2004 ; Rohe & Noppeney, 2015 ; Shams & Beierholm, 2011). Partant de ce postulat, la capacité de percevoir notre environnement est donc un processus probabiliste, et chaque information sensorielle est intégrée avec un certain degré d'incertitude (Drugowitsch & Pouget, 2012 ; van Bergen & Jehee, 2019). La perception globale de notre environnement est le résultat de processus d'intégration multisensorielle modulés par des expériences perceptives préalables et des informations sensorielles possiblement bruitées.

Cette intégration multisensorielle a de nombreux avantages : elle permet de réduire les ambiguïtés et de compenser une information incomplète (Maravita *et al.*, 2003 ; Strelnikov *et al.*, 2011), d'améliorer la précision et le temps de réponse (Colonius & Diederich, 2004 ; Lehmann & Murray, 2005 ; Rowland *et al.*, 2007). L'intégration multisensorielle peut même intervenir lors d'une rééducation : dans le cas d'une hémianopsie, l'exposition à des stimulations multisensorielles visuo-auditives permet de rétablir une sensibilité visuelle dans l'hémisphère lésé, améliorant ainsi les réponses comportementales (Bean *et al.*, 2023). Ces bénéfices multisensoriels sont les conséquences d'un traitement d'informations renseignées par différents canaux sensoriels congruents, ils sont des gains multisensoriels (Girard *et al.*, 2011).

Parce que le vieillissement induit un déclin d'une grande pluralité de fonctions cognitives et sensorielles, il serait aisé de penser que l'intégration multisensorielle pâtirait elle aussi de l'avancée en âge. Pourtant, les adultes âgé·e·s arrivent à égaler voire à surpasser les adultes jeunes lors de tâches cognitives multisensorielles (de Dieuleveult *et al.*, 2017 ; Jones & Noppeney, 2021 ; Laurienti *et al.*, 2006 ; Mozolic *et al.*, 2012). Une des hypothèses étudiées pour tenter d'expliquer un tel phénomène repose sur la baisse des performances attentionnelles des personnes âgées pour la sélection et le traitement des stimuli sensoriels. Autrement dit, le gain multisensoriel observé chez les âgé·e·s serait due au déclin des performances en attention

sélective, qui pourrait s'illustrer comme une porte grande ouverte – normalement fermement entrebâillée – dans laquelle s'engouffrerait un maximum d'informations multisensorielles, pertinentes ou non ((Hugenschmidt *et al.*, 2009 ; Mozolic *et al.*, 2012). Cependant, la réduction attentionnelle des jeunes et des âgé·e·s n'est pas différente au cours d'une tâche d'attention sélective (Hugenschmidt *et al.*, 2009 ; Mozolic *et al.*, 2012).

Une autre explication présentée par Mozolic *et al.* (2012) tiendrait sur la structuration des paradigmes des tâches cognitives multisensorielles, dans lesquelles les essais en condition unisensorielle ne donnent qu'une seule information pertinente aux participant·e·s, comparativement aux conditions multisensorielles. En suivant cette piste de réflexion, on pourrait donc s'attendre à une plus grande difficulté pour les personnes âgées de performer lors d'une condition unisensorielle comparativement à une condition multisensorielle, car cette dernière serait plus simple à réaliser grâce aux multiples indices sensoriels. L'étude de Laurienti *et al.* (2006) a permis de réaffirmer l'existence d'un meilleur gain multisensoriel chez les personnes âgées comparativement aux jeunes, et ceci grâce à l'utilisation d'un ajustement post-hoc permettant de corriger la différence temporelle entre les groupes qui était liée au ralentissement cognitif général chez les adultes âgé·e·s. Cette étude pointe l'existence d'un traitement de l'information multisensorielle modifiée chez les personnes âgées, une conclusion qui est la même dans l'étude semblable de Peiffer *et al.* (2007). Laurienti *et al.* (2006) ont aussi mesuré un allongement de la fenêtre temporelle de l'intégration multisensorielle chez les personnes âgées comparativement aux jeunes. Cet allongement temporel n'est pourtant pas ce qui expliquerait leurs meilleures performances en condition multisensorielle. Comme le montrent Diederich *et al.* (2008), si le ralentissement cognitif des personnes âgées est à l'origine de cet allongement, l'augmentation des temps de réponse et leur variabilité réduite indiqueraient que le traitement de l'information multisensorielle ne puisse avoir lieu durant ce laps de temps allongé. L'allongement de la fenêtre d'intégration des informations multisensorielles ne permet

donc pas non plus d'expliquer l'amélioration observée chez les personnes âgées comparativement aux jeunes.

Une dernière piste est proposée par Mozolic *et al.* (2012). Comme le soulignent Stein et Meredith en 1993, l'augmentation de l'incertitude du traitement d'une information sensorielle permet d'augmenter l'efficacité du traitement des informations multisensorielles. Cet effet est nommé « *inverse effectiveness* ». La baisse de l'acuité perceptive des adultes âgé·e·s aurait pu donc être une solution. Mais l'étude de Cienkowski et Carney (2002) ne montre aucune différence d'identification de syllabes en condition auditive entre les jeunes normaux entendant·e·s, les jeunes dont l'ouïe a été bruitée et les personnes âgées. Actuellement en *preprint*, l'étude de Schneeberge *et al.* (2023) obtient des résultats qui soutiennent l'hypothèse de l'*inverse effectiveness* : selon les scientifiques, en prenant en compte les différences perceptives liées à l'âge, les performances des adultes âgé·e·s n'ont plus bénéficié d'un gain multisensoriel supérieur aux jeunes.

Enfin, la revue de littérature de Jones et Noppeney (2021) montre l'importance de prendre en compte de multiples facteurs. Parmi eux, on retrouve les attentes liées aux expériences passées, les modifications des stratégies décisionnelles, ainsi que la fiabilité sensorielle et les capacités attentionnelles réduites. Tous ces facteurs participeraient à l'égalisation, voire au dépassement des performances des personnes âgées comparativement aux jeunes lors de tâches multisensorielles congruentes. Malgré cela, les personnes âgées restent plus impactées lors de conflits sensoriels que les personnes jeunes, car seraient plus sensibles à l'interférence. Il est par ailleurs important de noter que toutes ces recherches utilisent des tâches cognitives dans lesquelles les stimuli sensoriels sont pertinents, car identifiés comme porteurs d'une information décisive pour la réalisation de la tâche en cours. Mais cette identification n'a pas forcément lieu lors d'activités qui se réalisent en dehors des laboratoires. Par exemple, de nombreuses recherches soutiennent que l'expérience, notamment musicale ainsi que

l'apprentissage et la pratique intensive d'un instrument de musique, permettent de modifier et de potentialiser l'intégration d'informations multisensorielles (Love *et al.*, 2012 ; Paraskevopoulos *et al.*, 2014 ; Zimmerman & Lahav, 2012). En conséquence, les processus d'intégration multisensorielle favoriseraient à leur tour les apprentissages (Hodges *et al.*, 2005 ; Zimmerman & Lahav, 2012).

Si les stimulations multisensorielles ne sont pas nécessairement identifiées comme des informations pertinentes pour la réalisation d'une activité, elles sont néanmoins constamment présentes dans notre environnement. Dans la dernière sous-partie qui suit, nous verrons de quelles façons musiques et odeurs intègrent ensemble certains *designs* multisensoriels, ainsi que leurs rôles et influences supposés.

Correspondances multisensorielles, environnements olfacto-auditifs et cognition

C'est via les arts que la liaison entre les musiques et les odeurs a été la plus flagrante, les concerts odorisés ayant été les premiers espaces où un tel mélange sensoriel se produisait (Spence, 2021b). Et si à l'origine des senteurs étaient diffusées pour camoufler l'odeur des foules dans les salles de spectacles, la diffusion conjointe d'odeurs et de musiques s'est voulue être au fur et à mesure une stratégie pour tenter d'attirer le plus possible de spectateurs et de spectatrices (Crisinel *et al.*, 2013 ; Spence, 2021b). Une telle diffusion conjointe pourrait faire l'impasse sur la volonté de faire correspondre les modalités sensorielles entre elles. Pourtant, le phénomène de correspondance entre les modalités sensorielles occupe une place considérable dans l'étude des influences des environnements multisensoriels sur l'humain. Les correspondances multisensorielles peuvent être sémantiques, statistiques, structurelles ou affectives (Motoki *et al.*, 2023 ; Spence, 2020a). Lorsqu'elles sont sémantiques et statistiques, les correspondances sont le fruit d'apprentissages, soit par le développement langagier, soit par la répétition d'expériences. Lors de correspondances structurelles, les correspondances seraient

possiblement innées et dépendraient de la maturation de connexions neurales conjointes. Enfin, lorsqu'elles sont affectives, les correspondances entre les stimulations sensorielles seraient basées sur des caractéristiques affectives communes aux stimuli (par exemple l'agrément perçue). Motoki *et al.* font la proposition que ces catégorisations ne peuvent en aucun cas exclure leur cumul, si bien que la correspondance entre la couleur rose et son odeur peut être à la fois affective, comme avec le descripteur « poudré », mais aussi statistique, par la répétition de l'expérience de l'odeur de rose avec la couleur de la fleur, et sémantique, par le lien langagier entre la couleur rose et le mot qui désigne la fleur dont est issue l'odeur. Par exemple, un argument en faveur d'une correspondance structurelle entre deux sensibilités pourrait être soutenu par les résultats de l'étude de Plailly *et al.* (2007b), dans laquelle les scientifiques ont constaté que la familiarité perçue des odeurs et de musiques partageait une connectivité neuronale commune, suggérant ainsi un même réseau neuronal multisensoriel sous-jacent. Ainsi, pour l'obtention d'un effet de congruence qui serait observable sur des mesures comportementales ou physiologiques, il faudrait donc sélectionner des stimuli sensoriels en fonction de leur type de correspondance. Notons que les expériences multisensorielles et donc les correspondances entre les stimuli peuvent être dépendantes des milieux et cultures, si bien qu'une grande majorité des connaissances en psychologie sur les correspondances multisensorielles sont basées sur l'études de personnes WEIRD (*Western, Educated, Industrialised, Rich, and Democratic societies*, voir Arnett, 2008 ; Henrich *et al.*, 2010) et ne reflètent pas nécessairement la totalité de types de correspondances possibles.

On remarque par ailleurs une correspondance sémantique entre musiques et odeurs : de nombreux mots communs sont utilisés pour désigner leurs caractéristiques, comme « harmonie », « note » ou encore « accord » (Deroy *et al.*, 2013 ; Spence, 2021a). Cette correspondance sémantique était exploitée par le parfumeur George William Septimus Piesse (1879) qui rapprochait le procédé de création en parfumerie à celui de la composition musicale,

et avait même créé une échelle de correspondance olfacto-musicale selon sa propre perception. Récemment, une étude menée auprès de 14 pianistes a d'ailleurs exploré l'influence de la perception olfactive sur l'improvisation musicale (Mesz *et al.*, 2023). Les scientifiques ont montré que la perception trigéminal d'une odeur (sensation de fraîcheur et de chaleur) corrélait avec la moyenne de la hauteur des notes jouées lors de l'improvisation, et que les odeurs perçues comme camphrées induisaient davantage de liaisons et de silences en styles de jeu non legato et staccato (dans lesquels les notes sont plus espacées par des silences comparativement à un style de jeu legato). Dans cette même étude, une odeur perçue comme agréable par les pianistes était positivement corrélée avec la production de notes de hauteur basse et négativement corrélée avec une production de notes dissonantes et de classes de hauteur éloignées.

La relation d'influence entretenue entre musiques/sons et odeurs a été étudiée en laboratoire. Seo et Hummel (2011) avaient montré dans une première expérience un effet de congruence (qu'on rapprocherait de la notion de correspondance de type statistique et/ou affective selon Motoki *et al.*) : la diffusion d'un son congruent avec une odeur (par exemple, le son de chips croquées diffusé avec une odeur de chips) permettait d'augmenter l'agréabilité perçue de l'odeur diffusée comparativement à une condition incongruente (par exemple, le son d'un café bu avec une odeur de chips). Dans une seconde expérience, les scientifiques ont montré l'existence d'un effet de halo de l'agréabilité perçue d'un son sur l'agréabilité ressentie d'une odeur. L'influence de l'agréabilité d'une odeur sur celle d'un son n'était cependant pas soutenue par les résultats de l'étude. Quelques années plus tard, Seo *et al.* (2014) réaffirmaient l'importance des correspondances olfacto-auditives pour l'agréabilité perçue d'une expérience multisensorielle en menant trois expériences. Non seulement l'agréabilité perçue des odeurs était augmentée en présence de sons correspondants, mais il en était de même pour la familiarité perçue et l'identification des odeurs.

Similaire à l'étude de Kantono *et al.* (2016) au sujet de l'influence de musiques sur la gustation, l'étude de Velasco *et al.* (2014) montre l'influence de l'écoute musicales sur la perception olfactive. Dans cette étude, les participant·e·s devaient évaluer l'agrément, l'intensité et la qualité de 6 odeurs (myrtille, citron, orange considérées agréables, et musc, chocolat noir et fumée considérées comme désagréables) après avoir écouté une musique agréable consonante, une musique désagréable dissonante, et de bruit blanc. Bien que la musique n'ait pas influencé la perception olfactive, les scientifiques avaient cependant montré que l'écoute préalable de bruit blanc induisait une perception plus désagréable, plus sèche et moins douce de toutes les odeurs comparativement à l'écoute préalable de musiques, qu'elle soit consonante ou dissonante. Enfin, l'état d'activation induit par une musique semble lui aussi pouvoir être modulé par celui d'une odeur, dans la condition où les deux stimulations seraient en correspondance affective (Zhou & Yamanaka, 2018).

L'inclusion de stimulations musicales et olfactives dans des *designs* multisensoriels se retrouve aussi dans des interventions auprès de personnes âgées diagnostiquées avec des maladies neurodégénératives. Les objectifs de tels environnements sont pluriels en fonction de l'état cognitif des personnes. Les interventions multisensorielles permettent de renforcer le maintien global de nombreuses fonctions cognitives lorsque celles-ci sont encore préservées (De Oliveira *et al.*, 2014). Dans le cas de pathologies neurodégénératives avancées avec la présence de troubles neurocognitifs (TNC) sévères, ces interventions seront adaptées pour s'orienter vers l'aide à la communication non-verbale et au maintien de l'interaction de personnes (Clare *et al.*, 2020), ou encore vers la gestion de l'humeur et du comportement sur le court terme et l'amélioration de certaines constantes physiologiques (Ansaldi *et al.*, 2018 ; Maseda *et al.*, 2018). Si l'effondrement de la communication verbale peut contraindre la sélection personnalisée de stimuli sensoriels, elle peut être réalisée sur la base de réponses émotionnelles traduites par des expressions du visage et d'activations physiologiques

(Sakamoto *et al.*, 2013), ou encore choisie en fonction d'une supposée familiarité musicale (Cui *et al.*, 2017).

Les effets des environnements olfacto-auditifs pourraient donc dépendre du type de correspondance intermodale. L'étude menée par Baccarani *et al.* (2023) a permis de réaliser une avancée significative dans la compréhension de l'influence d'un environnement multisensoriel olfacto-auditif sur la récupération physiologique. À la suite d'un stress cognitif induit par la passation d'une batterie de tâches exécutives, les participant·e·s étaient réparti·e·s dans des environnements unisensoriels (soit une musique classique au rythme lent, soit la diffusion d'une huile essentielle de lavande), multisensoriel (les deux stimulations sensorielles diffusées conjointement) ou neutre (ni musique ni odeur diffusée). Les résultats mettent en avant l'efficacité des environnements unisensoriels musicaux et olfactifs sur certaines des variables physiologiques mesurées comparativement à la condition neutre. Alors qu'un gain multisensoriel aurait pu être attendu dans la condition multisensorielle grâce à la correspondance structurelle des stimulations pensées par Baccarani *et al.*, aucun effet bénéfique n'a été observé sur les mesures physiologiques. Cela suggère que la correspondance sémantique ou structurelle pourrait ne pas être la correspondance la plus pertinente. Se pose alors la question d'une correspondance affective basée sur l'expérience personnelle et les préférences des participant·e·s. Si cette thèse a comme objectif d'apporter quelques premiers éléments exploratoires concernant l'influence d'environnements olfacto-auditifs sur les performances exécutives d'adultes jeunes et âgé·e·s, elle permet aussi d'étudier l'importance éventuelle des correspondances affectives.

Proposition d'un modèle théorique

Les modèles présentés dans le cadre théorique sont des éléments indispensables pour tenter de représenter les influences potentielles de stimulations uni et multisensorielles olfacto-auditives sur les performances exécutives d'adultes jeunes et âgés. Cette proposition de modèle (voir Figure 7) a permis l'élaboration des hypothèses de la dernière étude exploratoire de ce travail de recherche (voir Étude 5 : Performances, Odeurs et Musiques (POM)). La structure du modèle proposé reprend celle de la *Cognitive Capacity Hypothesis* (CCH, Kahneman, 1973). La CCH soutient que la réalisation d'une activité ou d'une tâche repose sur la capacité disponible d'un individu, qui est limitée et qui varie selon l'état d'activation de la personne. Greffer la *Load Theory* (LT, Lavie, 2005, 2010) au modèle de la CCH permet d'ajouter l'influence des charges cognitives et perceptives des tâches à réaliser et des distracteurs, mais aussi de nuancer le modèle de la CCH avec la complexité des tâches à réaliser et l'effet du vieillissement. L'ajout de la *Distraction-conflict Theory* (DCT, Baron, 1986 ; Gonzalez & Aiello, 2019) permet de conserver l'effet potentiellement positif de distracteurs sur l'état d'activation. Enfin, l'intégration du modèle de la *Strength and Vulnerability Integration* (SAVI, Charles, 2010) permet l'ajout de l'influence du vieillissement, lui aussi sur l'état d'activation.

1. Activités disponibles et tâches à réaliser, facteurs d'âge et de complexité

Parce que le modèle proposé reprend la même structure que celui de la CCH, sa lecture commence par conséquent par le module d'activités disponibles, auquel a été joint le module de tâches à réaliser qui s'inspire de la LT. Ces deux modules regroupent toutes les activités et tâches qui sont envisageables à réaliser à un instant t . Les activités et tâches à réaliser sont dépendantes d'un *input*, qui est la capacité disponible. Selon la CCH, une activité est porteuse

d'une charge cognitive, un concept qui est aussi retrouvé dans le modèle de la LT : une tâche à réaliser est porteuse d'une charge cognitive et d'une charge perceptive, tout comme les distracteurs potentiels. En liant le modèle de la CCH à celui de la LT, une tâche à réaliser qui aurait une haute charge perceptive pourrait être pourvue en capacité disponible, saturant ainsi le stock de capacité disponible. De fait, les distracteurs ayant une charge perceptive équivalente à la charge demandée par la tâche à réaliser ne pourraient être cognitivement traités. Dans le cas d'une tâche à haute charge cognitive et à faible charge perceptive, cette dernière pourrait être interrompue par un ou plusieurs déterminants divers environnementaux, qui seraient dotés du même type de charge, ou ayant une charge perceptive plus grande.

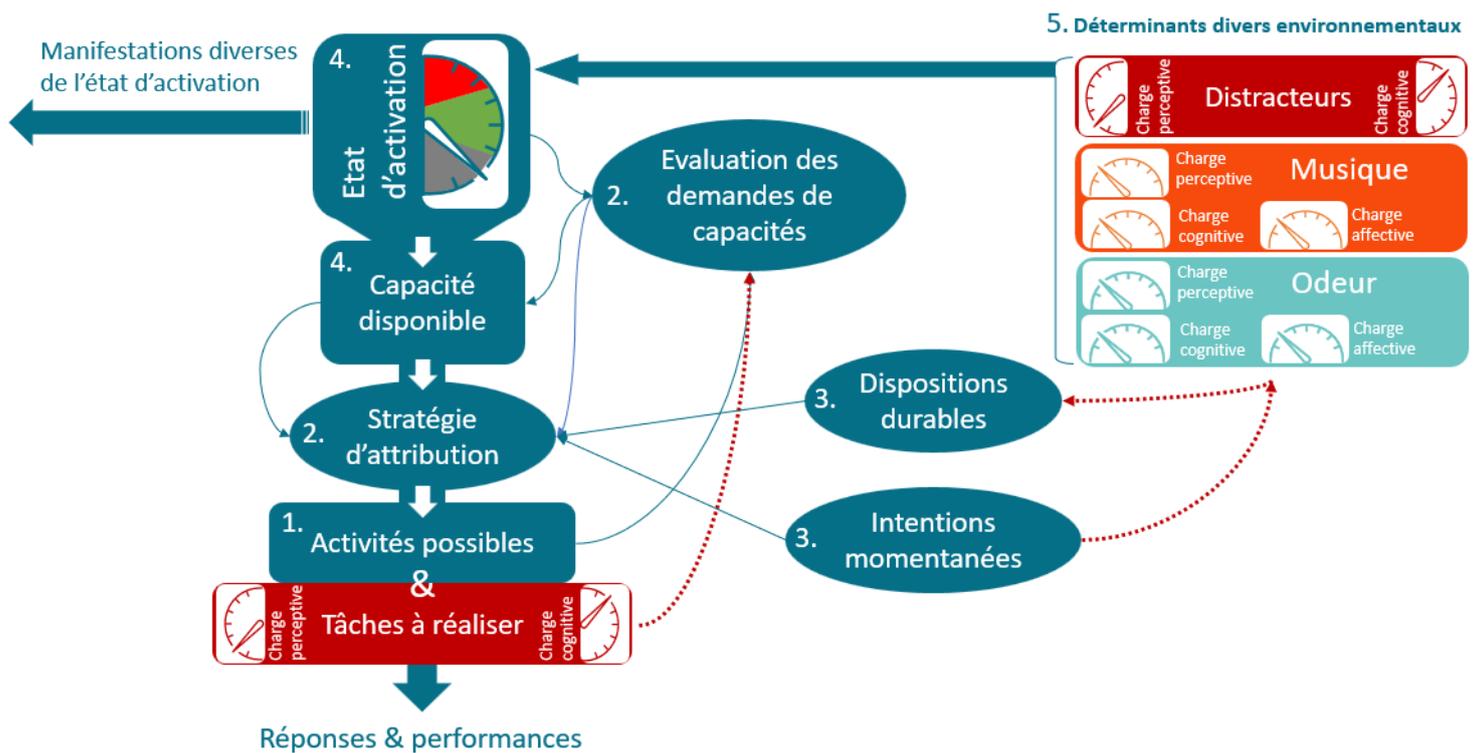


Figure 7 : Illustration du modèle de l'influence des environnements multisensoriels sur les performances cognitives. Les éléments repris de la CCH sont en bleu, les éléments de la LT et de la DCT sont en rouge.

Le modèle de la CCH propose que réussir à effectuer plusieurs activités simultanément dépendrait de la capacité nécessaire à la réalisation de chacune d'entre elles séparément, la complexité de l'activité ou de la tâche à réaliser est donc importante à prendre en compte. Une activité simple serait peu demandeuse en termes de capacité disponible et la tâche à réaliser aurait une charge cognitive basse, alors qu'une activité difficile serait très demandeuse en capacité cognitive et la tâche à réaliser aurait une charge cognitive haute. Si l'activité ou la tâche dépasse la capacité disponible de l'individu, son exécution serait entravée. Moins de capacité disponible par rapport au standard attendu causerait une détérioration de la performance, et une activité ou tâche qui aurait une demande de capacité plus haute que la limite cognitive de l'individu serait impossible à entreprendre. La complexité perçue d'une activité à réaliser varie selon l'état d'activation d'un individu, et inversement. Ainsi, les erreurs commises durant la tâche à réaliser sont des indices privilégiés pour mesurer la variation de l'état d'activation avec la difficulté de l'activité réalisée. La non-détection d'un signal normalement détecté avec facilité ou bien une réponse plus lente que la normale prouverait que les capacités non utilisées sont réduites par la difficulté de la tâche. Enfin, le modèle de la LT propose un effet bénéfique du vieillissement sur les performances en attention sélective et l'inhibition des distracteurs. Selon ce modèle, le vieillissement agirait en réduisant la perception des éléments non pertinents lors de la réalisation d'une tâche à faible charge perceptive. Mais lors de tâches à très faible charge perceptive, les personnes âgées seraient désavantagées et plus vulnérables face aux distracteurs (Forster & Lavie, 2008).

2. Evaluation des demandes de capacité et stratégie d'attribution

Le module d'évaluation des demandes de capacité et la stratégie d'attribution sont des éléments centraux du modèle de la CCH. Le module d'évaluation des demandes a pour fonction

d'évaluer la capacité requise pour la réalisation de l'activité ou de la tâche, et ceci en fonction de l'état d'activation et de la capacité disponible, qui varient ensemble. Ce module peut donc être considéré comme un système de gouvernance qui informe le module de stratégie d'allocation de la capacité disponible. Le module d'évaluation peut cependant pâtir d'un état de fatigue trop élevé et d'un état d'activation trop bas. Le module de stratégie d'attribution gère le stock de capacité disponible et sa répartition. Avec le module d'évaluation des demandes de capacité, le module de stratégie d'attribution rappelle le rôle tenu par le système superviseur du modèle de Shallice (1988) qui régule et sélectionne les schémas de réponses alternatifs, et permet ainsi l'adaptation comportementale lors d'une situation non routinière. Ce module est directement influencé par le module d'évaluation des demandes mais aussi par les dispositions durables, les intentions momentanées et l'état d'activation. Selon la CCH, le système de stratégie d'attribution favorise les activités perceptives qui demandent une grande capacité disponible au détriment d'activités perceptives moins exigeantes. Il est possible de faire le rapprochement avec les tâches à réaliser ayant une haute charge perceptive, comparativement à celles ayant une faible charge perceptive.

3. Dispositions durables et intentions momentanées

Deux autres modules vont influencer le module de stratégie d'attribution des capacités. D'abord les dispositions durables, qualifiées par Kahneman comme étant un phénomène d'attention involontaire. Elles permettraient un effort transitoire pour traiter et analyser le stimulus ayant capturé l'attention, mais aussi l'inhibition de l'activité en cours ainsi que l'orientation attentionnelle du sujet vers de futures sources probables d'informations pertinentes. Ensuite, les intentions momentanées, qui renvoient à un phénomène d'attention volontaire et active, proche de l'attention sélective. Ces deux modules aiguillent l'attention portée aux stimuli, et donc aux déterminants environnementaux. Pourtant, le modèle de

Kahneman n'indique pas de lien d'influence entre les modules attentionnels et les déterminants environnementaux. Cette relation a été ajoutée dans le modèle proposé dans cette thèse.

4. Etat d'activation, capacité disponibles et facteur d'âge

La capacité disponible est une notion centrale du modèle de la CCH, elle peut être spécifique ou non spécifique à l'activité ou à la tâche à réaliser. La mobilisation de la capacité disponible ne dépend pas de l'intention de la personne mais de l'état d'activation nécessité par la réalisation de l'activité ou de la tâche à réaliser, qui varie en fonction de déterminants divers environnementaux, des activités et tâches déjà en cours d'exécution. L'état d'activation varie d'un état bas (zone grise de la jauge) dans lequel les distracteurs ne peuvent être inhibés, pouvant se manifester par un état d'errance mentale, à un état haut (zone rouge de la jauge) dans lequel l'inhibition des déterminants environnementaux pertinents empêcherait l'adaptation des comportements des individus, pouvant se manifester par un état d'agitation ou de persévération. Un état modérément haut (zone verte de la jauge) permet l'inhibition des distracteurs et la prise en compte des informations pertinentes pour réaliser une tâche et la faire aboutir. Le modèle SAVI permet d'ajouter une nuance au modèle de la CCH, et ceci en modulant l'état d'activation avec l'avancée en âge. Ce modèle soutient que le vieillissement impacte négativement la flexibilité physiologique et, par conséquent le maintien et le retour à un état homéostatique modéré serait plus difficilement réalisé comparativement à des adultes jeunes. Ainsi, lorsque des déterminants divers environnementaux induisent des affects impactant négativement l'équilibre homéostatique, l'état d'activation des adultes âgés resterait trop élevé de façon prolongée, induisant l'inhibition de déterminants divers environnementaux pertinents.

5. Déterminants divers environnementaux

La CCH met en avant l'éventuelle surcharge de la capacité cognitive lorsque des déterminants divers s'appuient sur les mêmes capacités que la tâche à réaliser. Ainsi, parce que les modules d'évaluation des demandes de capacités et de stratégie d'attribution peuvent orienter la capacité disponible vers le traitement attentionnel de déterminants divers, l'environnement sensoriel d'un individu peut influencer les réponses et performances cognitives de ce dernier. Kahneman n'apporte que très peu de détails au sujet des déterminants divers environnementaux. Il présente néanmoins un exemple, en citant l'intensité de la stimulation, les effets physiologiques de drogues ou d'entraînements. Ce module pourrait regrouper un nombre infini de stimuli, dont les stimuli sensoriels qui pourraient être considérés comme étant des distracteurs. En greffant l'hypothèse de la LT au modèle de la CCH, les charges perceptives et cognitives de chaque distracteur influenceraient les capacités disponibles des individus, capacités qui seraient ensuite attribuées pour la réalisation d'activités et de tâches à réaliser en fonction de leurs demandes cognitives et perceptives.

La LT ne permet pas d'envisager une influence positive de musiques ou d'odeurs, considérées alors comme des distracteurs aux informations non pertinentes et aux charges perceptives et cognitives pouvant entrer en concurrence avec celles des tâches à réaliser. Mais le modèle de la DCT propose une alternative qui s'articule avec la complexité de la tâche. Lors d'une tâche simple, qui pourrait être une tâche avec une faible charge cognitive selon le modèle de la LT et de la CCH, les distracteurs à faible charge cognitive pourraient créer un léger conflit attentionnel et ainsi augmenter et maintenir l'état d'activation modérément haut. Ce conflit empêcherait l'état d'activation de baisser et d'entrer en zone trop basse, qui pourrait se traduire par un état d'errance mentale. En conséquence, un distracteur ajusterait l'état d'activation à la charge cognitive nécessitée par la tâche à réaliser. La réalisation d'une tâche complexe avec haute charge cognitive ne pourrait être aidée par un distracteur, car les charges cognitives de la

tâche et du distracteur entreraient en concurrence, créeraient un conflit attentionnel qui augmenterait excessivement l'état d'activation. La DCT révisée par Gonzalez et Aiello (2019) modélise l'influence d'une musique à faible ou forte charge cognitive, mais ne propose pas l'existence d'une charge perceptive. Au regard de la LT, tout distracteur est porteur d'une charge cognitive et perceptive. Dans le cas de la musique, il est possible de faire l'hypothèse que l'augmentation d'une charge perceptive (qui serait donc l'augmentation d'information perceptive au sein du stimulus musical, par exemple son volume, son rythme), induirait en conséquence l'augmentation de la charge cognitive. Dans le cas des odeurs, il est difficile à ce jour de pouvoir accorder avec certitude l'existence d'une charge cognitive. Alors que la charge perceptive pourrait être liée à son intensité, la charge cognitive d'une odeur pourrait varier selon l'expérience passée d'un individu. En conséquence, il semblerait nécessaire de supposer une charge affective en plus des charges perceptive et cognitive, pouvant elle aussi influencer l'état d'activation des individus.

Problématique

Le développement de connaissances scientifiques au sujet de l'influence de notre environnement sensoriel sur notre cognition est confronté à une très grande pluralité de résultats des études empiriques dans le cas de la musique. En ce qui concerne les odeurs et leur influence sur notre cognition, les études se bornent généralement à l'interaction entre olfaction et mémoire, sans explorer les influences des odeurs sur les autres fonctions cognitives. La littérature scientifique ne permet donc pas actuellement de comprendre en détails (fréquence d'utilisation, préférences selon l'activité réalisée, etc.) l'utilisation des musiques et des odeurs au quotidien et lors d'activité cognitives, ainsi que les similarités et les différences entre les adultes d'âges diverses. Par exemple, aucune étude scientifique n'a tenté d'éclaircir de quelles façons les musiques et les odeurs influencent les performances exécutives des adultes âgé·e·s. Pour répondre à ce défi, plusieurs étapes sont nécessaires, et plusieurs études ont été menées pour répondre à différents objectifs (voir Figure 8). **Premièrement, une meilleure compréhension des habitudes musicales et olfactives d'adultes d'âges différents est nécessaire** car elle permettrait de conceptualiser des *designs* environnementaux adaptés aux individus. Les études *Olfactory Habits and Concentration* (OHC) et *Musical Habits and Concentration* (MHC) ont notamment été développées pour obtenir des informations permettant l'adaptation méthodologique des études suivantes. Elles ont permis de créer les premières bases méthodologiques (sélections de stimuli musicaux et odorants, matériel de diffusion, etc.) des autres études prévues dans cette thèse. **Deuxièmement, en vue de diffusions conjointes de musiques et odeurs, il nous faut comprendre quelles variables affectives (agrément, familiarité, intensité) et quelles émotions évoquées permettent, selon des adultes d'âges différents, de considérer des musiques et des odeurs comme favorables ou**

défavorables à diffuser durant la réalisation d'une activité cognitive. Certaines études ont utilisé les variables affectives pour tenter de comprendre l'influence de musiques et d'odeurs sur la cognition, mais aucune n'a exploré les possibles similarités et différences affectives entre musiques et odeurs. L'objectif de cette troisième étude est de saisir les similarités et les différences entre les caractéristiques affectives (agrément, familiarité, intensité, favorabilité) et émotionnelles musicales et olfactives perçues par des adultes d'âges différents. Cette étude intitulée *Music and Odors Characterization for Concentration* (MOCC) permettait la diffusion d'un panel d'extraits musicaux et d'odeurs.

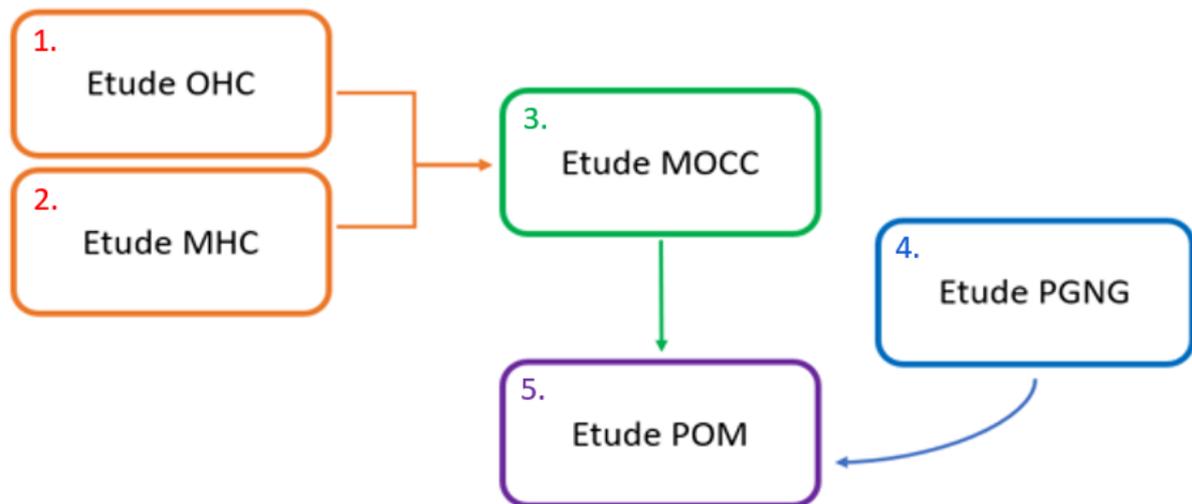


Figure 8 : Schématisation de l'organisation expérimentale de la thèse.

Troisièmement, il est nécessaire d'identifier une tâche standardisée qui permettrait de mesurer rigoureusement les effets d'environnements uni et multisensoriels, personnalisés ou imposés. La sélection de la PGNG comme tâche exécutive expérimentale présente de nombreux avantages comme nous l'avons vu en introduction. Par exemple, la présence de plusieurs niveaux de difficulté ainsi qu'un temps court d'administration (entre 10 et 15 minutes). Ce troisième objectif est visé dans l'étude *Parametric Go No-Go* (PGNG). Les 6 versions alternatives de cette même tâche qui étaient développées devaient permettre de

diminuer les effets d'apprentissage causés par la répétition, qui était nécessairement prévue dans la dernière étude programmée. Pour finir, l'ensemble de ces études a permis de construire le protocole expérimental permettant de comprendre de quelles façons musiques et odeurs influencent les fonctions exécutives des adultes jeunes et âgé·e·s. **La cinquième étude de cette thèse a donc tenté d'identifier les variables** (difficulté de la tâche, favorabilité perçue, correspondances affectives, personnalisation des stimulations musicales et odorantes) **qui influencent les performances exécutives des adultes jeunes et âgé·e·s.** À ce jour, aucune étude scientifique n'a exploré cette thématique de recherche. Pour cela, l'étude *Performances, Odeurs et Musiques* (POM) a été menée.

Etudes expérimentales

Dans cette partie, sont présentés la méthodologie et les résultats de chaque étude. Les méthodologies et résultats des études dont les articles sont publiés, soumis ou en cours d'écriture sont écrits en anglais. Trois de ces études ont été réalisées en ligne, les deux autres en laboratoire. L'étude 1 (OHC) avait pour objectif de connaître les habitudes olfactives des adultes francophones jeunes (18 – 35 ans), intermédiaires (36 – 45 ans) et âgés (46 ans et +) au quotidien, mais aussi durant la réalisation d'une activité qui nécessite de se concentrer pendant quelques minutes (N = 411). Similaire à l'étude 1, l'étude 2 (MHC) avait pour objectif de connaître les habitudes musicales des adultes francophones jeunes (18 – 35 ans) et âgés (48 – 64 ans) dans le cadre d'une activité qui nécessite de se concentrer pendant quelques minutes (N = 441). L'étude 3 (MOCC) nous a permis de tester un panel de 28 odorants et de 26 extraits musicaux auprès d'adultes jeunes (18 – 35 ans) et âgés (48 – 65 ans) dans le but d'identifier, auprès de ces deux populations d'intérêt, les congruences et divergences entre les caractéristiques générales (favorabilité perçue, agréabilité, intensité, familiarité) et émotionnelles de musiques et d'odeurs (N = 111). Cette étude nous a ainsi permis de sélectionner les musiques et les odeurs considérées comme les plus favorables aussi bien par les adultes jeunes que les adultes âgés. L'étude 4 (PGNG) avait pour objectif de tester et de valider 6 formes alternatives de la tâche *Parametric Go No-Go* (PGNG). Enfin, l'étude 5 (POM) avait pour objectif de mettre en lumière les influences des musiques et des odeurs, personnalisées ou imposées, présentées séparément ou conjointement, sur les performances exécutives et les ressentis de performances d'adultes jeunes et âgés (N = 60).

Étude 1 : Olfactory Habits and Concentration (OHC)

Co-auteurs : Roxane L. Bartoletti¹, Victoria-Anne Michel², Ambre Denis-Noël³, Clement F. Andrieu¹, Roman Cassese¹, Martine Adrian-Scotto⁴, Serge Antonczak⁴, Dirk D. Steiner¹, Xavier Corveleyn¹

Affiliations : ¹Université Côte d'Azur, LAPCOS, France ; ²University of York, Department of History, H2020 Odeuropa project ; ³Aix-Marseille Université, CNRS, Laboratoire de Psychologie Cognitive, UMR 7290, 3 place Victor Hugo, 13003 Marseille, France ; ⁴Université Côte d'Azur, CNRS, Institut de Chimie de Nice, UMR 7272, 28 avenue Valrose, 06108 Nice, France

Résumé

Introduction

Malgré quelques avancées technologiques dans la diffusion contrôlée d'odorants (Maggioni *et al.*, 2018, 2019), l'utilisation des odeurs dans la vie quotidienne s'avère être très peu documentée. Ainsi, l'intérêt scientifique pour l'exploration des habitudes olfactives de la population occidentale et de ses conséquences reste peu investi, y compris pour mieux comprendre comment l'utilisation d'odeurs pourrait améliorer ou non la réalisation d'une tâche cognitive nécessitant de se concentrer. Parce que nos habitudes et notre cognition évoluent au cours de notre vie, la présente étude investigate les principales caractéristiques des habitudes olfactives des adultes de différents groupes d'âge dans la vie quotidienne, et pour la réalisation d'une activité cognitive.

Hypothèses

Une différence d'utilisation des odorants entre les adultes les plus jeunes et les adultes les plus âgé·e·s est attendue (Herz & Bajec, 2022), avec une plus grande fréquence d'utilisation chez les adultes âgé·e·s. Néanmoins, en lien avec les rares données retrouvées dans la littérature scientifique de ce domaine, cette étude reste exploratoire et aucune autre hypothèse n'a pu être développée.

Méthode

411 personnes réparties en trois groupes d'âge (« adultes jeunes » de 18 à 35 ans ; « adultes d'âge moyen » de 36 à 45 ans ; « adultes âgé·e·s » de 46 ans et plus) ont répondu à un questionnaire en ligne de 13 questions. L'étude durait environ 5 minutes et était divisée en deux parties, l'une explorant les habitudes quotidiennes olfactives, l'autre questionnant les habitudes olfactives dans le cadre d'une activité cognitive nécessitant de la concentration. De façon à comparer l'utilisation d'odeurs et l'utilisation de musique durant une activité nécessitant de se concentrer, 3 questions étaient posées relativement aux habitudes musicales. Chacun des 13 items explorait une variable.

Résultats

Les adultes âgé·e·s (46 ans et plus) utilisent significativement plus fréquemment les odeurs comparativement aux autres groupes d'âge dans la vie quotidienne. Le matériel de diffusion utilisé varie selon les groupes d'âge, avec les adultes d'âge·e·s utilisant plus de bâtonnets diffuseurs et de bougies parfumées comparativement aux adultes d'âge moyen (36 à 45 ans). Les adultes jeunes (18 à 35 ans) utilisent eux aussi plus de bougies parfumées ainsi que du matériel divers de diffusion comparativement aux adultes (36 à 45 ans). Pour favoriser la concentration, les adultes âgé·e·s utilisent plus de bâtonnets diffuseurs que les deux autres

groupes d'âge. Concernant les lieux de diffusion des odeurs, les adultes d'âge moyen diffusent moins d'odorants chez eux et chez elles comparativement aux adultes jeunes et âgé·e·s. Enfin, les adultes âgé·e·s utilisent davantage des odeurs épicées comparativement aux autres groupes d'âge. Dans le cadre d'activités cognitives, aucune différence entre les groupes d'âge ne ressort statistiquement. Ce qui diverge notamment de l'habitude d'écoute musicale étudiée dans cette étude, dont les analyses révèlent que les adultes jeunes écoutent plus fréquemment de la musique pour se concentrer en comparaison aux adultes âgé·e·s. Pour finir, les adultes jeunes utilisent plus d'odeurs réconfortantes pour créer une ambiance olfactive favorable à la concentration comparativement aux adultes d'âge moyen.

Discussion

Les résultats ont confirmé notre première hypothèse concernant la fréquence d'utilisation des odeurs, avec une utilisation plus fréquente des odeurs par les adultes âgé·e·s (46 ans et plus) comparativement aux deux autres groupes d'âge plus jeunes (18 à 35 ans et 36 à 45 ans). Bien qu'une différence de fréquence de diffusion des odeurs au quotidien ait été détectée, l'âge ne semble pas être une variable influençant l'utilisation d'odeurs pour se concentrer, une différence qui est cependant observée lorsque nous nous intéressons à l'utilisation de musique. La diffusion d'odeurs ayant pour but de favoriser les performances cognitives pourrait donc être moins fréquente indépendamment de l'âge, et ceci en comparaison à l'utilisation de la musique. Ces résultats ont permis d'apporter des précisions méthodologiques (matériel utilisé, types d'odeurs, etc.) pour le développement des études MOCC et POM.

Method

Participants

The present study was approved by the Ethics Committee for Non-Interventional Research of Université Côte d'Azur (n°2022-093), and all participants were informed about study goals and gave their consent. A total of 521 French-speaking participants aged over 18 years old were recruited and completed an online survey of their musical habits when engaging in an activity requiring concentrating. Among the obtained data, we excluded those of participants who did not complete the whole questionnaire (n = 110). The remaining 411 participants were split into three groups (see Table 1). Group 1, called “young adults” concerned 295 participants in the age range 18 to 35 years old. Group 2, “middle-aged adults,” was composed of 67 participants in the age range 36 to 45 years old. Finally, group 3, called “older adults,” concerned 49 participants in the age range of 46 years old and over (2 participants in this group were aged over 65 years old). All participants were recruited via social media and academic mailing lists. Participation was voluntary without any compensation. Participation was voluntary without any compensation. All participants were informed about study goals and gave their consent. The sample size was based on a power calculation (GPower version 3.1.9.7) showing that a minimum sample of 390 people would be sufficient for a small (.20) effect size with a .95 power level, and .05 alpha level for an ANOVA analysis. For a total population of 411 participants with an effect size of .20, we obtained a power of .96.

Materials and procedure

The questionnaire was created using the online survey platform Qualtrics® and was announced on social media and student mailing lists. The survey questioned participants about their daily usage of odors and during activities requiring their concentration. We defined

activities requiring concentration as tasks requiring effort, reflection, and mobilization of skills and attention at a sustained level for several minutes. These tasks could be diverse like organizing a schedule during a busy week of work and hobbies, following an unknown recipe, or playing a board game where different rules must be remembered and combined.

Table 1

Demographic Variables of the Participants' Sample

Variables		Young adults	Middle-aged adults	Older adults
Gender	Men	74	18	12
	Other	8	1	0
	No response	5	2	0
	Women	208	46	37
Nationality	Algerian	0	1	0
	Belgian	7	0	1
	French	271	61	41
	Luxembourgish	1	0	0
	Monegasque	1	0	0
	Moroccan	1	1	0
	Swiss	2	1	1
	Other	12	4	5
Socio-professional category	Artisan, retailer, company manager, liberal profession	15	10	8
	Employee	37	13	8
	Executives, high intellectual profession	52	31	24
	Retired	0	0	4
	Student	167	5	2
	Unemployed	23	7	2
	Workforce	1	1	1
Olfactory profession	Yes	263	57	42
	No	32	10	7

The survey contained 13 items, one per dependent variable (see Appendices, section 1.1), and its completion lasted 5 minutes. Once participants had finished the task, they

responded to questions regarding their gender, nationality, and socio-professional category, and if they work or have worked in olfactory professions.

Analyses

We compared the responses of the three age groups on the characteristics of the odors diffused during daily life and activities requiring concentration. The analyses were realized by using Jamovi (version 2.3.26). We conducted a General Linear Models (GLM; binomial) using the GAMLj module for Jamovi (Gallucci, 2019) to compare the habits of the participants depending on their age group. For all comparisons, GLM were used in this study. GLM were conducted instead of ANOVA, as they provide useful assessments of the associations of predictors with a wide variety of responses (Neuhaus & Mcculloch, 2011).

Results

Due to the large number of variables studied and the exploratory nature of the study, only the most interesting results are presented in this section. The complete analyses can be found in Tables 2 and 3 in the Appendices (section 1.2).

Odors use in daily life

The analyses regarding the daily life frequency of odor use revealed a significant effect between age groups, $\chi^2(2, n = 411) = 7.82, p = .02$. Post-hoc analyses indicated that older adults use odors significantly more often in daily life compared to young adults (diff = -0.5, $p_{holm} = .026$) and middle-aged adults (diff = -0.64, $p_{holm} = .026$). However, no difference was found between age groups regarding the attention to smells in diverse places, $\chi^2(2, n = 411) = 5.44, p$

= .066, or the preferences to diffuse one or more particular scents, $\chi^2(2, n = 411) = 5.48, p = .065$.

Regarding the olfactory devices used, we observed significant effects of the age groups for the use of stick diffusers, $\chi^2(2, n = 411) = 6.89, p = .032$, scented candles, $\chi^2(2, n = 411) = 7.86, p = .02$, and other devices, $\chi^2(2, n = 411) = 9.97, p = .007$. Post-hoc analyses revealed that adults use significantly fewer stick diffusers (diff = -0.16, $p_{holm} = .036$) and scented candles (diff = -0.21, $p_{holm} = .034$) than middle-aged adults. Moreover, young adults use significantly more scented candles (diff = -0.17, $p_{holm} = .018$), and other devices (diff = 0.07, $p_{holm} = .045$) compared to middle-aged adults. Young adults also use significantly fewer other devices than older adults (diff = -0.087, $p_{holm} = .037$). No significant difference was found in further statistical examinations of the olfactory devices used in daily life ($p_{sholm} > .078$).

Places of odor diffusion varied among age groups, with significant differences for diffusions at home, $\chi^2(2, n = 411) = 11.5, p = .003$, and at work, $\chi^2(2, n = 411) = 8.2, p = .017$. Post-hoc analyses revealed that middle-aged adults diffuse odors at home less than middle-aged (diff = -0.17, $p_{holm} = .004$) and young (diff = -0.17, $p_{holm} = .011$) ones. Post-hoc analyses failed to detect further significant differences between age groups ($p_{sholm} > .143$).

The categories of odors used in daily life significantly differed among age groups for spicy, $\chi^2(2, n = 411) = 9.99, p = .007$, and citrus, $\chi^2(2, n = 411) = 6.28, p = .043$, without other differences among odor categories ($p < .085$). Post-hoc analyses showed that older adults used more spicy odors compared to middle-aged adults (diff = -0.14, $p_{holm} = .007$) and young adults (diff = -0.14, $p_{holm} = .015$). Post-hoc analyses failed to detect further significant differences between age groups for the use of citrus odors ($p_{sholm} > .134$).

Finally, regarding created olfactory ambiances in daily life, age groups differed significantly only on esthetic ambiances, $\chi^2(2, n = 411) = 6.18, p = .045$, but no significant difference was found in further statistical examinations ($p_{sholm} > .062$).

Odors use to concentrate

No differences were found among age groups regarding the use of odors for concentrating, $\chi^2(2, n = 411) = 0.97, p = .617$. In comparison, the use of music for concentrating differed among age groups, $\chi^2(2, n = 411) = 14.5, p < .001$. Post-hoc analyses indicated that young adults use music significantly more often for concentrating compared to older adults (diff = 0.67, $p_{holm} = .002$). However, no differences were found among age groups concerning the difficulty to ignore auditory distractors, $\chi^2(2, n = 411) = 0.86, p = .651$, or olfactory ones, $\chi^2(2, n = 411) = 1.31, p = .52$.

Concerning the olfactory devices used for concentrating, we observed once again significant effects of the age groups for the use of stick diffusers, $\chi^2(2, n = 411) = 8.35, p = .015$, and scented candles, $\chi^2(2, n = 411) = 6.22, p = .045$. Post hoc analyses revealed that older adults use sticks significantly more than middle-aged adults (diff = -0.09, $p = .032$) and young adults (diff = -0.08, $p = .015$), no significant difference was found between young adults and middle-aged ones ($p = .88$). Post-hoc analyses failed to detect further significant differences among age groups ($p_{holm} > .152$).

Odor categories for concentration significantly differed among age groups for comforting smells, $\chi^2(2, n = 411) = 0.86, p = .651$; no other differences were found among odor categories ($ps < .209$). Post-hoc analyses showed that adults used fewer comforting odors compared to young ones (diff = -0.14, $p_{holm} < .01$).

Discussion of OHC study

This study was designed to explore the olfactory habits of adults of different ages in daily life and during cognitive activities. Results confirmed our hypothesis regarding the usage frequency of odors, with older adults using them more often in daily life compared to middle-aged and younger ones. Related to the results of Herz and Bajec's study (2022), younger adults could be less attached to their sense of smell, being consequently less interested in diffusing odors.

No difference was found among the three age groups concerning their attention to smell or their olfactory habits for concentration. The absence of differences among the age groups contrasts with their musical habits: younger adults use music more often to concentrate compared to older ones. Regardless of age, the modulation of the olfactory environment could be more difficult or less common compared to musical ambiances. Although innovating technologies for capturing, generating, and diffusing odors have emerged in laboratories in recent years (Matsukura *et al.*, 2013; Obrist *et al.*, 2014; Spence *et al.*, 2017), mastering the frequent diffusion of odors in the same way as digitized music has not yet been achieved.

Other results give new insights concerning the olfactory habits of adults of different ages. For example, places of smell diffusion seem to vary depending on age, with young and older adults diffusing more odors at home compared to adults. Concerning olfactory devices used in everyday life, we found that older adults used more stick diffusers and perfumed candles compared to middle-aged ones. Also, young adults used more scented candles and other devices compared middle-aged adults. For concentration, older adults also used stick diffusers more often compared to the two other age groups.

Finally, older adults were found to use more spicy smells in daily life compared to adults and younger ones. In contrast, young adults use more comforting smells compared to adults.

As these results point out differences that could be interpreted in many ways, further studies should detail which factors could be involved in olfactory habits of young and older adults.

Étude 2 : Musical Habits and Concentration (MHC)

Co-auteurs : Roxane L. Bartoletti¹, Ambre Denis-Noël², Roman Cassese¹, Martine Adrian-Scotto³, Serge Antonczak³, Dirk D. Steiner¹, Xavier Corveleyn¹

Affiliations : ¹Université Côte d'Azur, LAPCOS, France ; ²Aix-Marseille Université, CNRS, Laboratoire de Psychologie Cognitive, UMR 7290, 3 place Victor Hugo, 13003 Marseille, France ; ³Université Côte d'Azur, CNRS, Institut de Chimie de Nice, UMR 7272, 28 avenue Valrose, 06108 Nice, France

Résumé

Introduction

L'utilisation de la musique comme fond sonore pour étudier ou travailler est un comportement commun de modification de l'environnement sensoriel pour soutenir nos performances cognitives. De nombreux outils numériques ont émergé grâce aux avancées technologiques des dernières décennies. Ces outils numériques permettent notamment de contrôler un certain nombre de paramètres de diffusion de musiques, avec notamment la personnalisation de listes musicales en ligne, la gestion du volume sonore, la qualité des musiques, etc. Alors que certains comportements en lien avec l'écoute musicale semblent eux aussi évoluer avec le vieillissement, comme une utilisation moindre de la musique lors d'activités cognitives (Goltz & Sadakata, 2021), trop peu d'études ont investigué les différences d'utilisation de la musique entre les adultes jeunes et âgé·e·s lors d'activités cognitives, en particulier celles nécessitant de se concentrer. Parce que nos habitudes et notre cognition évoluent au cours de notre vie, la présente étude investigate les principales caractéristiques des habitudes musicales des adultes jeunes et d'âge moyen lors d'une activité cognitive.

Hypothèses

Sur la base des études déjà menées dans le champ de l'étude des habitudes musicales des adultes jeunes et âgé·e·s, sont attendues des différences de fréquence d'écoute de la musique durant une activité cognitive, de préférence de genre musicale, d'utilisation de matériel et d'intensité de la musique perçue entre les adultes jeunes et âgé·e·s.

Méthode

Au total, 441 personnes ont participé à cette étude. Les données de 358 jeunes (18 - 35 ans) ont ainsi été comparées à celles de 53 adultes plus âgés (48 - 65 ans). L'étude durait environ 5 minutes et explorait les habitudes d'écoute musicale durant la réalisation d'activités cognitives. Chacun des 7 items explorait une variable.

Résultats

Les adultes âgé·e·s rapportaient écouter moins fréquemment de la musique pour se concentrer comparativement aux adultes jeunes. Le matériel pour l'écoute musicale était différent en fonction de la population, avec les adultes âgé·e·s préférant significativement une diffusion par enceinte plutôt que par casque comparativement aux adultes jeunes, qui eux semblaient plus flexibles dans le matériel utilisé. Aussi, bien que les genres de musiques rap et électro étaient plus écoutés par les adultes jeunes que par les adultes âgé·e·s dans le cadre d'une activité cognitive, les deux groupes d'âge ne présentaient pas d'autres différences en termes de préférences de genre musical pour se concentrer. Enfin, les musiques considérées comme dynamiques étaient considérées comme plus favorables pour se concentrer par les adultes jeunes comparativement aux adultes âgé·e·s. Cependant, les adultes jeunes et âgés semblaient considérer comme plus favorable une musique relaxante pour se concentrer comparativement à une musique dynamique.

Discussion

Cette étude pointe les similitudes et les différences de caractérisation de la musique lors de la réalisation d'une activité cognitive entre les adultes jeunes et plus âgé·e·s. Ces résultats ont permis d'apporter des précisions méthodologiques (matériel utilisé, genres musicaux, etc.) pour le développement des études MOCC et POM.

Method

Participants

A total of 618 participants aged between 18-35 and 48-65 years old completed an online survey of their musical habits when engaging in an activity requiring concentrating. Among the obtained data, we excluded those of participants who did not complete the whole questionnaire (n = 169) and reported never listening to music during concentration activities (n = 38). The remaining 441 participants were split into two groups. The first group called “young adults” concerned 358 participants in the age range of 18 to 35 years old. The second group called “older adults” was composed of 53 participants in the age range of 48 to 64 years old (see Table 1).

Table 1

Demographic Variables of the Participants' Sample

	Variables	Young adults	Older adults
	N	358	53
	Age (s.-d.)	24.42 (3.3)	55.04 (4.6)
	Gender (percentage of women)	75.98%	69.81%
Frequency use of background music while concentrate	Rarely	20.67%	49.06%
	Sometimes	32.68%	15.09%
	Often	36.31%	26.42%
	All the time	10.34%	9.43%
Socio-professional category	Artisan, retailer, company manager, liberal profession	5.31%	16.98%
	Employee	10.34%	20.75%
	Executives, high intellectual profession	18.44%	49.06%
	Retired	0%	11.32%
	Student	58.66%	1.89%
	Unemployed	5.87%	0%
	Workforce	1.4%	0%

All participants were recruited via social media and academic mailing lists. Participation was voluntary without any compensation. The sample size was based on a power calculation (GPower version 3.1.9.7) showing that a minimum sample of 328 people would be sufficient for a small (.20) effect size with a 0.95 power level, and .05 alpha level for an ANOVA analysis. For a total population of 441 participants with an effect size of .20, we obtained a power of .99. All participants were informed about study goals and gave their consent.

Materials and procedure

The questionnaire was created using the online survey platform Qualtrics® and was announced on social media and student mailing lists. The survey questioned participants about their daily usage of background music during activities requiring their concentration. We defined activities requiring concentration as tasks requiring effort, reflection, and mobilization of skills and attention at a sustained level for several minutes. These tasks could be diverse like organizing a schedule for a busy week of work and hobbies, following an unknown recipe, or playing a board game where different rules must be remembered and combined. The survey contained 7 items, one per dependent variable (see Appendices, section 2.1), and its completion lasted 5 minutes. Finally, participants were asked for standard demographic information such as gender, age, and socio-professional category.

Analyses

We compared the responses of the two age groups (young and older adults) on the characteristics of the music listened to during activities requiring concentration (frequency, devices used, familiarity, presence of lyrics, emotions and arousal, sound volume, and musical genre). The analyses used were two proportions Z-test analysis (Chi²) using the R (R Core Team, 2021) packages *tidyverse* (Wickham *et al.*, 2019) and *rstatix* (Kassambara, 2021).

Results

All results are reported in Table 2 (see Appendices, section 2.2). Proportionally, more older adults reported rarely listening to music while concentrating compared to young adults, $p < .001$, $d = -.42$. Conversely, a larger proportion of young adults reported sometimes listening to music while concentrating compared to the musical habits of older adults, $p < .001$, $d = .62$. The proportions of older and young adults who reported listening to music often or always while concentrating did not differ significantly (both $ps > .20$).

We also analysed the habits regarding the listening devices while concentrating. The results revealed that diffuse music was more commonly used by older as compared to younger adults, $p < .001$, $d = 0.52$, and that listening to music close to the ears was more commonly used by younger than older adults, $p < .001$, $d = -1.26$. In addition, more young adults reported using both kinds of listening devices compared to older ones, $p < .001$, $d = -0.75$.

As for musical genre, more young adults reported listening to electro ($p < .01$) and rap ($p < .001$) to concentrate compared to older adults. The other contrasts were not significant (all $ps > .06$).

Compared to older adults, a greater proportion of young adults considered dynamic music as favorable for concentration, $p = .02$, $d = -.38$. No other questionnaire items regarding the arousal of the music resulted in significant differences between the age groups (all $ps > .06$).

No group difference was observed on any of the questionnaire items regarding the presence or the type of lyrics (all $ps > .06$), the volume (all $ps > .10$), or the familiarity of the music used while concentrating (all $ps > .07$).

Discussion of MHC study

The Musical Habits and Concentration study (MHC) contributes to understanding the different musical habits of young (18 – 35 years old) and older (48 – 65 years old) adults while engaging in activities requiring concentration. The online survey included questions about lyrics, arousal, volume, devices used, familiarity, frequency, and musical genre. The results confirmed different usage of background music while concentrating between young and older adults concerning the frequency, devices used, two musical genres (rap and electro), and arousal.

The usage frequency of background music while concentrating differed significantly between young and older adults, with a lesser use of background music by older adults. Two principal explanations could be proposed. The first interpretation is cognitive: increased age is correlated with decreased cognitive performance (McAlister & Schmitter-Edgecombe, 2013; Zanto & Gazzaley, 2017). Goltz et Sadataka (2021) linked this phenomenon to the Cognitive Capacity Hypothesis (Kahneman, 1973), stating that the more complex the cognitive task, the more rapidly cognitive capacity is overloaded. The researchers also linked the usage frequency difference of young and older adults to the distractive aspect of music, being the primary reason for not listening to it during cognitive effort. The second interpretation, which does not exclude the first one, is a generation gap explanation: older adults did not grow up with recent technological advancements, including audio streaming, online video sharing, and social media platforms which allow instant music playback and customizable music lists (Goltz et Sadataka, 2021). Young adults may use music as background more commonly in everyday life and could be less impacted by its presence. The generation gap explanation could also explain the difference observed between young and older adults concerning the devices used for listening to music. It appears that young adults more than older adults prefer using devices close to the

ears (earphones or headphones), but they also use diffuse music (radio or speaker), the device preferred by older adults. However, our study suffers from an unbalanced sample distribution with a larger representation of young adults compared to older ones. Our findings should therefore not be overinterpreted.

Age being one of the most important stratifying features for musical preferences, the generation gap could also explain the observed differences between young and older adults concerning musical genre preferences for concentrating (Savage, 2006). Rap and electro genres appeared more recently compared to the other musical genres proposed in this study and therefore, present day older adults did not grow up with these genres, potentially influencing their tastes. As evoked by Cohrdes and colleagues (2020), other explanations like change of musical preferences over the lifespan (Bonneville-Roussy *et al.*, 2013, 2017) due to hearing tolerance (Bonneville-Roussy & Eerola, 2018) and age-differential emotion regulation motivations (Cohrdes *et al.*, 2017) complete this hypothesis. Except for these two musical genres, there were no other significant differences between young and older adults regarding music's favorability for concentration in our study, even if the classification or favorite genres varied slightly. Classical music (73.58% of older adults, 70.95% of young adults) and jazz (52.83% of older adults, 57.26% of young adults) appeared in the top three of the most preferred musical genres during a task requiring concentration among our samples. We also found the blues (54.72%) and lounge (47.17%) to be well-appreciated by older adults, and ambient (53.91%) and pop (48.04%) by young adults. For the least preferred musical genres, we found dub and metal (both at 1.89%), salsa and electro (both at 3.71%), hard rock (3.77%), and rumba and zouk (both at 5.66%) for older adults, and rumba (8.38%), salsa (8.67%), tango, metal, and dub (all at 10.61%), and swing and zouk (both at 10.90%) for young adults. However, even if classical and calm music seem to be the preferred musical style, we did not find any preference

for non-vocal music, despite previous research showing that instrumental music has the least negative impact on cognitive performance (Alley & Greene, 2008; Avila *et al.*, 2012). The absence of a significant preference for non-vocal music in our study could be due to the lack of precision concerning the difficulty of the task to be performed. Indeed, the musical genre is less critical when people are engaged in an easy task compared to a challenging one (Goltz & Sadakata, 2021).

Concerning the difference between young and older adults for music arousal preferences, young adults find dynamic music more favorable for concentration compared to older adults. One explanation could be found with the Strength and Vulnerability Integration Model (Charles, 2010) which postulated a decrease in global physiological regulation flexibility and a greater engagement of older adults in the avoidance of negative emotions. It seems older adults have a more unpleasant feeling when experiencing high-arousal events (Keil & Freund, 2009), and they may develop a strategy of avoiding dynamic music and preferring low arousal music (Cohrdes *et al.*, 2020).

Because differences exist between young and older adults, further studies should adapt the experimental methodology to explore the influences of music on these populations. Researchers should consider the frequency and the arousal of background music used while concentrating. Also, it seems preferable to use a sound diffusion system and avoid the use of headphones that could disadvantage the elderly.

Étude 3 : Music and Odors Characterization for Concentration (MOCC)

Co-auteurs : Roxane L. Bartoletti¹, Ambre Denis-Noël², Roman Cassese¹, Martine Adrian-Scotto³, Serge Antonczak³, Dirk D. Steiner¹, Xavier Corveleyn¹

Affiliations : ¹Université Côte d'Azur, LAPCOS, France ; ²Aix-Marseille Université, CNRS, Laboratoire de Psychologie Cognitive, UMR 7290, 3 place Victor Hugo, 13003 Marseille, France ; ³Université Côte d'Azur, CNRS, Institut de Chimie de Nice, UMR 7272, 28 avenue Valrose, 06108 Nice, France

Résumé

Introduction

Les influences de musiques et des odeurs sur la cognition et le comportement humain dépendent de nombreux facteurs, dont les caractéristiques affectives des stimuli (agrément, intensité, familiarité) et les caractéristiques individuelles (personnalité, âge, etc.). Bien que nous percevions au quotidien d'innombrables musiques et odeurs, peu de scientifiques se sont intéressé·e·s à la manière dont elles sont perçues comme favorables ou défavorables pour réaliser une activité cognitive. Une meilleure compréhension des caractéristiques affectives communes musicales et olfactives, ainsi que des émotions évoquées par ces stimuli, est essentielle pour personnaliser des expériences multisensorielles. Ainsi, l'étude MOCC a pour but d'explorer les caractéristiques affectives et émotionnelles perçues de stimuli musicaux et olfactifs, sur la base des résultats des études OHC et MHC.

Hypothèses

Une différence de favorabilité perçue des musiques entre les deux groupes d'âge devrait être observée. En ce qui concerne les odeurs, une différence entre les deux groupes concernant

l'agréabilité perçue devrait être observ e, avec des notations moins négatives pour les odeurs désagréables r alis es par les adultes âgé-e-s comparativement aux jeunes.

Méthode

Au total, 111 personnes ont participé à cette étude (62 adultes jeunes, entre 18 et 35 ans) et 49 adultes âgé-e-s, entre 48 et 65 ans). Ce sont 23 extraits musicaux et 28 molécules olfactives différentes qui ont été s lectionn es sur la base des résultats des études OHC et MHC. Afin d'éviter des biais méthodologiques (fatigabilité, surstimulation olfactive), les odeurs et musiques ont été réparties en 2 listes distinctes (liste 1 : 15 flacons olfactifs et 12 extraits musicaux ; liste 2 : 14 flacons olfactifs et 12 extraits musicaux). Ainsi, chaque participant-e devait noter soit la liste 1, soit la 2, pour une durée d'étude d'environ 1 heure.

Résultats

Les personnes jeunes et  g es notent de façon similaire les musiques et les odeurs perçues comme propices à la concentration. Pour être perçues comme favorables à la réalisation d'une tâche cognitive, les musiques doivent être perçues comme agréables et calmes. Les odeurs consid r es comme favorables pour se concentrer doivent être cat goris es comme agréables, relaxantes et familières. Cependant, les caractéristiques affectives des musiques sont corr l es à des émotions parfois différentes en fonction des groupes d'âge (par exemple, les émotions *forte* et * nergique* corr l es négativement à la favorabilité à se concentrer pour les adultes jeunes comparativement aux adultes âgé-e-s).

Discussion

Les résultats de l'étude MOCC ont permis de mieux comprendre les corrélations entre la favorabilité perçue de musiques et des odeurs et leur agréabilité, leur intensité et leur

familiarité perçues. Les résultats ont aussi montré que la favorabilité perçue d'une musique était corrélée avec des caractéristiques affectives et des émotions parfois différentes selon l'âge des participant·e·s. Ainsi, nous avons obtenu des classements des musiques et des odeurs en fonction de leurs caractéristiques affectives et des groupes d'âge. Ces précisions ont contribué au développement méthodologique de l'étude POM.

Method

Participants

The present study was approved by the Ethics Committee for Non-Interventional Research of our university (n°2021-053). Participants were 119 French persons aged between 18-35 and 48-65 years old living near Nice, France (see Table 1). Eight were rejected due to suspected hyposmia or anosmia according to their Sniffin' Sticks results (Fjaeldstad *et al.*, 2015; Hummel *et al.*, 1997; Kobal *et al.*, 1996), meaning that 111 voluntary participants finally took part in the study (74 women, 36 men, and 1 non-binary person), each participant was compensated with 5 euros. The participants were recruited in two age groups: young adults (40 women, 21 men, and 1 non-binary person) between 18 and 35 years old, and older adults (34 women and 15 men) between 48 and 65 years old.

Table 1

Demographic Variables of the Participants' Sample

	Variables	Young adults	Older adults
Gender	Female	40	34
	Non-binary	1	0
	Male	21	15
Socio-professional category	Artisan, retailer, company manager, liberal profession	3	11
	Executives, high intellectual profession	9	23
	Employee	4	6
	Student	43	3
	Retired	0	6
	Unemployed	3	0
	Musical habits (SD)		2.4 (1.28)
Approximate cigarette consumption (SD)		1.08 (2.93)	11.1 (3.36)

The sample size was based on a power calculation (GPower version 3.1.9.7) showing that a minimum sample of 90 people would be sufficient for a medium (.30) effect size with a 0.80 power level and .05 alpha level an ANOVA analysis. For a total population of 111 participants with an effect size of .30, we obtained a power of .88. Participants were asked to report their music listening habits during activities requiring concentration (on a Likert scale from “never” coded by 0 to “all the time” coded by 4), their approximate cigarette consumption, and their socio-professional category.

Materials

Based on the MHC study, 23 music excerpts of different styles and one open space noise recording (see Table 2 in Appendices, section 3.1) were used in this experiment. The music track choices needed to be diverse and were chosen with consideration of the results from the MHC study. In addition, 28 flasks filled with odorant molecules from different categories and one flask filled only with dipropylene glycol, an odorless solvent (total of 29 stimuli, see Table 3, section 3.1), constituted the olfactory stimuli. To limit the experience to 1 hour per participant, the two sets of stimuli were each divided into two lists (lists M1 and M2 for the musical excerpts, see Table 2 in Appendices section 3.1; lists O1 and O2 for the odorants, Table 3 in Appendices, same section). Thus, each musical list contained 12 stimuli (M1 and M2 lists), and the odorant lists contained respectively 15 (O1 list) and 14 (O2 list) stimuli. Each participant was assigned randomly to group 1 (lists M1 and O1) or group 2 (lists M2 and O2). To avoid overstimulation effects, half of the stimuli from each list, determined randomly for each participant, was presented to a participant for an experimental trial. Thus, each participant participated in four trials, alternating between the half-lists of auditory and olfactory stimuli, counterbalanced such that half of the participants began with auditory stimuli and the other half

with olfactory stimuli. In the end, 57 participants were in group 1 (32 young adults and 25 older adults) and 54 were in group 2 (30 young adults and 24 older adults).

Music list & survey

Twenty-four auditory stimuli were chosen for their musical characteristics of tempo (between 110 and 130 beats per minute, bpm), absence of lyrics, duration (2 minutes at least), and genre (see Table 2 in Appendices, section 3.1). Tracks were purchased on Qobuz Store® in format 16-Bit CD quality and 44.1 kHz - stereo. Each track was cut to last 90 seconds and was played on a computer connected to amplifiers. The musical genre, the key and the bpm of each music excerpt were identified by consulting the websites Every Noise at Once (<https://everynoise.com>) and Music Genre Finder by Chosic (<https://www.chosic.com/music-genre-finder/?track=6zQnJ8yHqFpvlwXqrQKZkB>).

The music survey included familiarity, pleasantness, and arousal items, the Brunel Music Rating Inventory 3 – Revised Context (BMRI-3, Karageorghis & Terry, 2010), and the Geneva Emotion Music Scale (GEMS-25, Zentner *et al.*, 2008). The familiarity, pleasantness, and arousal items were evaluated on 5-point Likert-type scales ranging from “Not at all” (= 0) to “Greatly” (= 4). A high score indicated strong familiarity, pleasantness, or arousal.

We translated the BMRI-3 into French and revised it by changing the context from sport activity to concentration activity and the motivation rating to a favorability rating. The adapted BMRI-3 consisted of 6 items and asked participants to indicate using 7-point Likert scales (“Strongly disagree” = 1 to “Strongly agree” = 7) if the music’s rhythm, style, melody, tempo, sound of the instruments used, and beat would be favorable as background music while performing a concentration task. Thus, scores could range from 6 to 42 (score < 24 = the track is unfavorable for concentration; 24 < score < 35 = the track is moderately favorable for concentration; score > 36 = the track is highly favorable for concentration).

We selected 18 items (*agitated, calm, dreamy, energetic, feel like dancing, feeling of transcendence, happy, inspired, irritated, melancholic, nostalgic, overwhelmed, relaxed, sad, sensual, soothed, strong, and tender*) from the GEMS-44 and the GEMS-25, originally distributed into eight dimensions (*transcendence, power, tenderness, nostalgia, peacefulness, joyful activation, sadness, tension*), which had the highest confirmatory factor analysis loadings for their dimensions (Zentner *et al.*, 2008) and for which translations were the most appropriate for our exploratory study. Each item was rated using a 5-point Likert scale ranging from “Not at all” (= 1) to “Greatly” (= 5).

Odor list and survey

Twenty-nine odorants were chosen based on their chemical properties and descriptors (see Table 3 in Appendices, section 3.1) using the expertise of our co-authors who are researchers in chemistry. All the olfactory molecules were dissolved in dipropylene glycol, a non-odorant solvent. The solutions were prepared to have similar olfactory strengths. For solid compounds, saturated solutions were prepared in 2mL of dipropylene glycol. For liquid compounds, dilute solutions were obtained by adding different concentrations of the pure odorant molecule in 2mL of dipropylene glycol. Chemical supplies were purchased from Sigma Aldrich/Merck and odorant solutions were prepared in the chemical laboratory of our chemist co-authors. The odorous solutions were stored in numbered opaque glass bottles.

The dependent variables were the ratings of pleasantness, arousal, familiarity, and evoked emotions for each musical and olfactive stimulus.

When presented with an odor, the participant responded to the odor survey which first asked whether they smelt an odor; responses could be “yes” or “no.” The odor survey also assessed familiarity, pleasantness, arousal, and favorability to concentrate in the presence of the odor. Then the Geneva Emotion Odor Scale (GEOS, Chrea *et al.*, 2009; Ferdenzi *et al.*, 2013a) was presented. The familiarity, pleasantness, arousal, and favorability to concentrate items were

scored “Not at all” (= 0) to “Greatly” (= 4), high scores indicated high levels of these characteristics. We selected 15 items from the GEOS (*pleasant, pleasantly surprised, well-being, unpleasant, disgusted, unpleasantly surprised, desire, romantic, in love, energetic, invigorated, clean, relaxed, serene, soothed*), originally distributed into 5 dimensions (*happiness/delight, unpleasant feelings, sensuality/desire, energy, and soothing/peacefulness*) and which had the highest confirmatory factor analysis loadings and which were the most appropriate for our exploratory study. The scale’s authors provided the French equivalences of the items. Each item was a 200-point continuous scale ranging from “Not at all intense” to “Extremely intense”, the participants had the possibility to check a box “not understood” instead of giving a rating.

Complementary surveys

To screen participants for possible hyposmia or anosmia, we used the Sniffin' Sticks Screening Version (Fjaeldstad *et al.*, 2015; Hummel *et al.*, 1997; Kobal *et al.*, 1996), an olfactory test commonly used in research for rapid assessment of skills in odor identification. It consists of the presentation of 12 scented sticks to every participant who smells each one and tries to identify the scent among 4 propositions, 3 of which are distractors. A score greater than or equal to 10 correct identifications validates the participant’s skills. Below 10 correct identifications, the participant was asked to stop the experiment. Eight of the 119 participants were rejected based on their scores.

Finally, we administered the Pichot questionnaire to quantify the fatigue felt (Haba-Rubio & Krieger, 2011; Pichot & Brun, 1984) at the moment of the experiment. The questionnaire includes 8 items scored 0 (= not at all) to 4 (= extremely), 32 is the maximum score possible. A score greater than or equal to 22 is considered to indicate excessive fatigue,

and the participant should stop and reschedule the experiment. No participant showed excessive fatigue (all scores were below 22).

Apparatus and procedure

One week before starting the study, participants read an information letter. They signed the consent form the first day of the experiment. Participants had to have abstained from alcohol and drugs in the 24 hours preceding the experiment and from caffeinated drinks and tobacco for 2 hours prior to the experiment. All participants were tested individually in a ventilated room in the experimental platform. Upon arrival, participants completed the Pichot questionnaire to evaluate fatigue and the Sniffin' Stick Screening Version to attest to normal olfactory capacities. The investigator gave instructions orally, and participants responded to the test and surveys on a computer.

The study session lasted approximately 1 hour and began with practice trials to familiarize participants with the music and odor surveys. Participants had the opportunity to ask questions throughout the practice trials. After this familiarization phase, the experimental session was conducted and began with a random selection of half of the stimuli from the list corresponding to the participant's group (1 or 2), beginning with either the musical or the olfactory stimuli. For the presentation of the olfactory stimuli, a flask number was displayed on the computer screen, and the investigator presented the indicated odorant flask below the participant's nose. Participants were asked to smell the odor by inhaling for approximately 3 seconds, then the odor survey started. At the end of the odor survey, another flask number was display on the computer screen, and so on until the end of the olfactory half-list. Presentation of music stimuli began with 30 seconds of a music track. After 30 seconds, the music survey was displayed, and the participant began to complete the questionnaires. The music track continued during the next 60 seconds. Breaks of 2 minutes intervened between each odor and

music half-list for all the participants. Participants completed the four half-lists of their assigned lists (group 1 or 2, each with two half-lists of auditory and olfactory stimuli). Once participants had finished the task, they responded to questions regarding their gender, socio-professional category, musical habits during activities that require concentration, and cigarette consumption. The study concluded by the debriefing, and participants received 5€ for their participation.

Analyses

The 6 items of the BMRI-3 evaluating favorability for concentration were highly correlated ($r_s > .88$) and they showed great internal consistency according to Cronbach's alpha and McDonald's omega ($\alpha = .95$; $\omega = .95$). Thus, to simplify the analyses, we averaged the responses to obtain a global favorability score for each music excerpt. The analyses were conducted with R (R Core Team, 2021). The correlations of interest were computed using the *cor_test()* function from the *rstatix* package (Kassambara, 2023). Then, correlations were compared using the *cocor* package (Diedenhofen & Musch, 2015). All correlations are available in Appendices. Mixed-effects models were computed using the *lmer()* function from the *lme4* package (Bates *et al.*, 2015), and main effects were obtained using the *joint_test()* function from the *emmeans* package (Lenth, 2021). Each model contained 4 fixed effects entered as covariates (age group, pleasantness, arousal, familiarity) and 2 random factors (participant and stimuli). Pleasantness, arousal, familiarity, GEMS, and GEOS items were repeated measures.

Results

Effect of Group, Perceived Pleasantness, Arousal and Familiarity of Music and Odors on Perceived Favorability for Concentration

Concerning music, older adults rated their use as less favorable for concentrating compared to young adults, $F(1, 1303) = 4.225, p = .04$. In addition, the analyses revealed that a greater perceived favorability for concentration was associated with a greater perceived pleasantness, $F(1, 1160) = 343.659, p < .001$, but a lower perceived arousal, $F(1, 791) = 110.427, p < .001$. However, perceived favorability was not associated with perceived familiarity ($F < 1$).

Regarding odors, the effect of the age group was not significant ($F < 1$), meaning that the perceived favorability of odors for concentrating did not significantly differ between young and older adults. However, the analyses revealed that, as for music, a greater perceived favorability for concentration was associated with a greater perceived pleasantness, $F(1, 446) = 917.661, p < .001$, but a lower perceived arousal, $F(1, 1544) = 50.893, p < .001$. Finally, again, conversely to what was observed for music, the analyses revealed that a greater perceived favorability for concentration was associated with a greater perceived familiarity, $F(1, 1406) = 57.009, p < .001$.

Correlations of Pleasantness, Arousal, Familiarity, and Emotional Characteristics for Music on Favorability to Concentration

In this section, we only report correlations that were significant in at least one of the two age groups (all correlations are available in Tables 5 and 6). The music's perceived favorability for concentrating correlated positively with its pleasantness and familiarity for both young, respectively $r = .83, p < .001, r = .45, p = .026$, and older adults, $r = .82, p < .001, r = .68, p <$

.001. On the other hand, perceived favorability to concentrate negatively correlated with arousal for both young, $r = -.89, p < .001$, and older adults, $r = -.83, p < .001$. All comparisons of correlations between the age groups were not significant ($ps > .08$).

When examining the correlations of the perceived favorability of music with the GEMS items for young and older adults, we found strong ($rs > .70$) and positive correlations with *mellowed, calm, relaxed, tender, inspired, melancholic, nostalgic, dreamy* (young adults: all $ps < .001$; older adults: all $ps < .001$), and weak ($rs < .50$) to moderate ($.50 < rs < .70$) correlations for *overwhelmed* and *sad* (young adults: all $ps < .001$; older adults: all $ps < .004$). All differences comparing correlations between age groups did not differ significantly ($ps > .15$). The emotions *sensual*, older adults: $r = 0.74, p < .001$, younger adults: $r = 0.31, p = .141$, and *feeling of transcendence*, older adults: $r = 0.62, p = .001$, younger adults: $r = 0.18, p = .403$, were highly to moderately correlated with perceived favorability but only for older adults. The correlation comparisons for *sensual*, $z = 3.20, p < .01$, and *feeling of transcendence*, $z = -2.75, p < .01$, revealed significant differences between the age groups, with stronger positive correlations observed for older adults. The perceived favorability of music tracks by young and older adults had high negative correlations with *agitated* and *irritated*, a moderate negative correlation with *feel like dancing*, and none of these differed significantly ($ps > .34$) between age groups. Finally, the emotions *energetic*, older adults: $r = -0.29, p = .174$, young adults: $r = -0.64, p < .001$, and *strong*, older adults: $r = 0.11, p = .603$, young adults: $r = -0.43, p = .038$, were moderately and negatively correlated with perceived favorability but only for young adults. When comparing the correlations between age groups, *energetic*, $z = -2.33, p = .020$, and *strong*, $z = -2.90, p < .01$, significantly differed, with stronger negative correlations observed for young adults.

Perceived music pleasantness for young and older adults had high positive correlations with the following GEMS items: *mellowed, relaxed, inspired, and dreamy*, and moderate correlations with *overwhelmed, nostalgic, calm, tender, melancholic, joyful, sensual, and*

feeling of transcendence. All correlations were equivalent ($ps > .15$) for the two age groups except for *sensual*, $z = -2.655$, $p = .008$, and *feeling of transcendence*, $z = -2.978$, $p = .003$, which were stronger for older adults. Also, the emotion *sad*, older adults: $r = 0.22$, $p = .304$, young adults: $r = 0.49$, $p = .015$, moderately and positively correlated with perceived pleasantness but only for young adults, whereas the emotion *strong*, older adults: $r = 0.46$, $p = .025$, young adults: $r = 0.02$, $p = .922$, moderately and positively correlated with perceived pleasantness but only for older adults. When comparing the correlations for *sad* and *strong* between age groups, the one for *strong* differed significantly ($p = .015$), with a stronger correlation observed for older adults. The difference was not significant for *sad* ($p = .112$). Finally, perceived music pleasantness had negative and equivalent correlations from high to moderate with *irritated* and *agitated* ($ps > .78$) for young and older adults.

The correlations between perceived arousal of the music tracks with *agitated* and *irritated* were high, positive, and similar ($ps > .39$) for young and older adults. The emotion *strong*, older adults: $r = 0.32$, $p = .124$, young adults: $r = 0.64$, $p < .001$, was moderately correlated with perceived music arousal but only for young adults. The correlation comparison between the age groups for *strong* was significant, $z = 2.16$, $p = .030$, with a stronger positive correlation observed for young adults. Conversely, perceived music arousal for young and older adults had negative, moderate to high correlations with *tender*, *calm*, *mellowed*, *melancholic*, *nostalgic*, *dreamy*, *sad*, *overwhelmed*, and *inspired*. These correlations did not differ significantly ($ps > .12$) between the two age groups except for *calm*, $z = -2.559$, $p = 0.010$, *mellowed*, $z = -2.349$, $p = .019$, and *relaxed*, $z = -2.550$, $p = .011$, with the correlation being stronger for younger adults. Finally, the emotion *sensual*, older adults: $r = -0.54$, $p = .006$, young adults: $r = -0.13$, $p = .542$, was moderately correlated with perceived music arousal for older adults only, and the correlation comparison revealed a significant difference between the age groups, $z = -2.65$, $p < .016$.

Perceived music familiarity for young and older adults had moderate and positive correlations with *mellowed*, *calm*, *relaxed*, *tender*, *inspired* and *dreamy*, and all of them were similar ($p > .20$) when comparing the age groups except for *inspired* which significantly differed between the groups, $z = -3.07$, $p = .002$, with the correlation being stronger for older adults. Also, the emotions *joyful*, older adults: $r = 0.61$, $p = .001$, young adults: $r = 0.12$, $p = .583$, *melancholic*, older adults: $r = 0.41$, $p = .046$, young adults: $r = 0.39$, $p = .062$, *nostalgic*, older adults: $r = 0.58$, $p = .003$, young adults: $r = 0.36$, $p = .084$, *sensual* (older adults: $r = 0.60$, $p = .002$; young adults: $r = 0.16$, $p = .467$), and *feeling of transcendence*, older adults: $r = 0.64$, $p < .001$, young adults: $r = 0.004$, $p = .986$, were moderately and positively correlated with perceived familiarity in older adults only. When comparing the correlations with *joyful*, *melancholic*, *nostalgic*, *sensual*, and *feeling of transcendence* between the age groups, those for *joyful*, $z = -2.99$, $p < .01$, *sensual* ($z = -2.70$, $p < .01$, and *feeling of transcendence*, $z = -3.82$, $p < .001$, were significantly different, with stronger positive correlations observed for older adults. No significant differences were found for *melancholic* or *nostalgic* ($ps > .146$). Conversely, perceived music familiarity for young and older adults had moderate, negative, and equivalent ($p = .587$) correlation strengths with *agitated*. The emotions *energetic*, older adults: $r = 0.16$, $p = .458$, young adults: $r = -0.43$, $p = .034$, and *strong*, older adults: $r = 0.37$, $p = .077$, young adults: $r = -0.41$, $p = .0049$, were moderately and negatively correlated with perceived music familiarity for young adults only, with the correlations for *energetic*, $z = -3.15$, $p < .01$, and *strong*, $z = -4.17$, $p < .001$, being significantly different between the age groups, with stronger negative correlations observed for young adults. Finally, the emotion *irritated*, older adults: $r = -0.64$, $p < .001$, young adults: $r = -0.19$, $p = .583$, was moderately and negatively correlated with perceived music familiarity but only for older adults. The correlation comparison for *irritated* revealed a significant difference between age groups, $z = 2.87$, $p < .01$, with a stronger negative correlation observed for older adults.

Correlations of Pleasantness, Arousal, Familiarity, and Emotional Characteristics for Odors on Favorability to Concentration

Once again, we only report correlations that were found to be significant in at least one of the two age groups, all correlations are available in the Appendices (section 3.2). The perceived favorability to concentrate of odors correlated positively with their pleasantness and familiarity for both young, respectively, $r = .97, p < .001$; $r = .61, p < .001$, and older adults, respectively, $r = .97, p < .001$; $r = .65, p < .001$. However, the perceived favorability to concentrate correlated negatively with the odor's rated arousal for young, $r = -.71, p < .001$, and older adults, $r = -.53, p = .003$. All differences between correlations for comparing age groups were equivalent ($ps > .13$), and all correlations had the same sign for young and older adults. Perceived favorability to concentrate of the odor had positive and equivalent correlations for young and older adults with the following emotions: *happiness - well-being - pleasantly surprised, relaxed - serene - reassured, energetic - invigorated - clean*, and *romantic - desire - in love* ($p > .073$, see Appendices, section 3.2). Conversely, perceived odor favorability had a negative correlation with *disgusted - irritated - unpleasantly surprised* for young and older adults. The same correlation directions were found, they also were equivalent when comparing the age groups for perceived odor pleasantness ($p > .072$) and familiarity ($p > .553$).

Perceived arousal of the odors had a positive correlation with *disgusted - irritated - unpleasantly surprised* for both young and older adults. Conversely, perceived arousal of odors had negative correlations with *happiness - well-being - pleasantly surprised, relaxed - serene - reassured*, and *romantic - desire - in love* for both age groups. Correlation strengths were not significantly different when comparing them between the age groups ($p > .079$).

T-test comparisons between young and older adults for each music and odor

Concerning music, older adults reported higher favorability for “Concerto violon” ($M = 1.37$; $SD = 1.3$), “Water Music Suite” ($M = 2.05$; $SD = 1$), and “Watermelon Man” ($M = 1.33$;

SD = 1.2) than younger adults, respectively, $t(52.7) = 2.235, p = 0.03$; $t(51.8) = 3.528, p < .001$; $t(51.6) = 2.228, p = 0.03$. Younger adults reported higher favorability for “Rej” ($M = 0.08$; $SD = 1.7$) than older adults, $t(54.9) = -2.183, p = 0.033$. No other significant difference was found (see Figure 1 in Appendices, section 3.3). Concerning odors, no significant difference was found between the two groups (see Figure 2 in Appendices, section 3.3).

Discussion of MOCC study

The Music and Odors Characterization for Concentration (MOCC) study was conducted to gain understanding of the main and common characteristics of music and odors while concentrating for young and older adults. In this study, we compared the data of two samples, 62 young (18 – 35 years old) and 49 older adults (48 – 65 years old).

As we could expect from the MHC study results, background music is considered less favorable for concentration for older adults compared to young adults. Experimental studies in this field showed mixed results concerning the positive (Bottiroli *et al.*, 2014; Ferreri *et al.*, 2014) or negative (Reaves *et al.*, 2016) influences of background music on elders' cognitive performance. In the MOCC study, we observed significant differences for four types of music between the two populations (two classical, one jazz, and one electro). Related to the MHC study, categorizing music on broad characteristics such as the musical genre is not sensitive enough. For example, the classical genre encompasses baroque, romantic, medieval, and contemporary classic, and similarly for jazz or electro. Music excerpts from the same musical genre are not rated or perceived as equivalent depending on the age group.

Music perceived as conducive to concentration is characterized as pleasant and relaxing, we therefore expected to find the stimulus “Busy Office Sound” as being largely considered as the most unfavorable to concentration for the two age groups, as it is a noisy non-musical auditory stimulus. Interestingly, familiarity does not seem to be a relevant criterion. The absence of familiarity as an important characteristic in concentration contexts deviates from the findings of Chew and colleagues (2016), they found that familiar music enhanced the average performance of the 163 undergraduates during a word memory task. When investigating the influences of music with participants from different age groups, it seems important to consider

the perceived musical characteristics for each participant depending on the tasks to perform (Goltz et Sadakata, 2021). Goltz and Sadakata (2021) showed that a reading or a writing task is more likely to be executed while listening to music compared to memorization ones. The use of background music therefore varies depending on the type of cognitive task to be performed, particularly in terms of its difficulty, with a greater difficulty implying a lesser use of background music (Goltz & Sadakata, 2021). The belief that music has a positive influence on concentration leads to higher use of background music, but this use remains modulated by the task difficulty. However, even if surveys are useful for gaining a better understanding of musical habits, Goltz and Sadakata (2021) warn about the possible gap between observational data and experimental outcomes. The use of musical background is both frequently thought to improve concentration but also considered potentially distractive and disturbing to concentration.

As developed in the introduction, complementary cognitive models and theories allow us to better understand how music can influence cognitive performance despite conflicting findings. The Cognitive Capacity Hypothesis (Kahnemans, 1973), Eysenck's theory of personality (Eysenck, 1967, 1985), Distraction Conflict Theory (Baron, 1986) revised by Gonzalez and Aiello (2019), and Load Theory (Lavie, 2005) highlighted the importance of the arousal state, the limited cognitive capacities of each individual, the potential influences of personality, the attentional conflict created by distractions, and the inherent cognitive and perceptive load of tasks to perform. These models and theories can easily articulate the relations among individual, music, and task variables (Goltz & Sadakata, 2021). We propose that the Strength and Vulnerability Integration Model (Charles, 2010), which postulates that increasing age incites people to avoid physiological arousal and emotional distress, could be articulated with the other theoretical perspectives. Thus, experiencing a moderately high level of arousal

due to background music while performing a rather easy cognitive task could be more difficult for older adults. In addition to the possible generation gap and normal cognitive declines in the aging, this theory could help to understand differences in the use of background music while concentrating between young and older adults. Our results are consistent with this hypothesis. On one hand, we showed that older people are less likely to use background music while concentrating. On the other hand, the arousing characteristics of music perceived as favorable for concentration does not vary depending on age. Finally, Arousal and Mood Theory (AMT, Thompson, 2001) helps to understand how pleasant music could modulate the state of arousal to enhance cognitive performance. In our study, we showed that the perceived favorability of music for concentration for young and older adults is positively correlated with pleasantness and familiarity, and negatively correlated with arousal. This result partially comforts the AMT hypothesis, as young and older participants seem to prefer pleasant music and avoid arousing background music while concentrating. Our correlation analyses also show that the four main characteristics (favorability, pleasantness, arousal, and familiarity) do not vary depending on age, but relationships between those characteristics and emotional characteristics share convergent and divergent results among young and older adults. A musical excerpt perceived as pleasant, familiar, and favorable for concentration for young and older adults correlates positively with mellowed, calm, relaxed, tender, and inspired emotions, and negatively correlates with agitated. These results emphasize the rather positive and low arousing characteristics of music perceived as favorable found in the MHC study. As we saw in the MHC study, even if classical music or jazz are perceived as the most favorable musical genres in both populations, the results of the MOCC study shows that age differences can be found for different musical excerpts from the same musical genre (for example baroque or contemporary classic, bebop, or jazz fusion). Similarly, the perceived favorability and the other main characteristics commonly shared by young and older adults can be differentially emotionally

experienced (for example, energetic or strong). Further studies should consider the different emotional experiences of young and older adults when exploring the influences of music on cognition.

Concerning the odors, we found that perceived favorability is not modulated by age. Compared to music, modulate our olfactory environment could be more difficult or less common irrespective of age. Indeed, creating a musical environment compared to an olfactory one is easier thanks to the great development of audio streaming and media services, even if technologies for generating and diffusing odors are still emerging (Obrist *et al.*, 2014; Spence *et al.*, 2017). Although odors are not commonly used to shape conducive environments to concentrate, pleasantness, arousal, and familiarity seem to be important criteria to consider. As with music, we observed that the perceived favorability of an odor for concentration for young and older adults is positively correlated with pleasantness and familiarity and negatively correlated with arousal. However, the scientific literature investigating the relationships between the main characteristics of odors presents mixed results. For Distel and colleagues (1999), intensity, familiarity, and hedonic strength are positively correlated, but the relationship between these characteristics varies widely among individuals, and is not necessarily linear (Delplanque *et al.*, 2008; A. G. Moss *et al.*, 2016). Valence and arousal ratings of odors also share a strong relationship by following a U-shape pattern, with strongly pleasant and unpleasant odors rated as highly arousing (Toet *et al.*, 2019). Unlike music, the correlational relationships between the four main characteristics and the emotional characteristics share convergent results among young and older adults. When an odor is considered as pleasant, familiar, or favorable to concentration, it is emotionally impregnated with happiness, relaxation, and dynamism. Conversely, an odor considered as not conducive to concentration is

emotionally linked to disgust. Moreover, the arousing characteristic of an odor is positively correlated with disgust and negatively correlated with happiness, relaxation, and dynamism.

Étude 4 : Alternative forms of the *Parametric Go/No-Go* (PGNG)

Co-auteurs : Roxane L. Bartoletti¹, Ambre Denis-Noël², Scott A. Langenecker³, Dirk Steiner¹, Xavier Corveleyn¹

Affiliations : ¹Université Côte d'Azur, LAPCOS, France ; ²Department, Aix-Marseille Université, Marseille, France ; ³Department, Ohio State University, Columbus, United States.

Résumé

Introduction

La tâche de la *Parametric Go/No-Go* (PGNG) évalue l'attention, la vitesse de traitement et les fonctions exécutives avec trois niveaux de difficulté croissante. La PGNG n'a pas de formes alternatives validées, ce qui limite les évaluations neuropsychologiques répétées pour les études de recherche longitudinale ou le suivi clinique. L'objectif de cette étude est donc le développement de six formes alternatives de la forme préexistante de la PGNG.

Hypothèses

Les niveaux 1, 2 et 3 de chaque version de PGNG devraient être significativement différents, le niveau 1 devrait être le plus facile (regroupant le plus de bonnes réponses et de temps de réponse courts) et le niveau 3 le plus difficile (regroupant le plus d'erreurs et de temps de réponse longs). Aussi, les sept versions de la PGNG (BCM, DKL, FGH, JQW, NPV, RST et XYZ) devraient être similaires sur les cinq variables dépendantes, autrement dit le Pourcentage de Cibles Correctes (PCT), le Pourcentage d'Inhibitions Correctes (PCI), l'Efficacité, le Temps de Réponse (RT) et le Coefficient de Variation du Temps de Réponse (RTCoV).

Méthode

Les performances des participant·e·s ont été comparées entre les sept versions de la PGNG. Au total, 349 participant·e·s ont été recruté·e·s en ligne, et ont complété l'une des sept versions de la tâche (XYZ, BMC, DKL, FGH, JQW, NPV, RST). Les variables dépendantes ont été analysées par des modèles de régressions linéaires.

Résultats

Pour chaque variable dépendante (hormis PCI qui ne compte pas de niveau 1), le niveau 1 semblait être plus difficile à réaliser comparativement au niveau 2, et le niveau 3 restait cependant le plus difficile à réussir pour les participant·e·s. Dans l'ensemble, le niveau 2 était donc réalisé avec moins d'erreur et avec des temps de réponse plus courts comparativement au niveau 1, ce qui contraste avec la version originale (Votruba & Langenecker, 2013). Les versions XYZ, BCM, NPV et RST sont similaires en termes de performance sur les cinq variables dépendantes et les 3 niveaux de difficultés. Des différences significatives entre les versions sont apparues pour certaines mesures et certains niveaux de la PGNG. Les versions FGH et JQW étaient plus difficiles que la version DKL pour la mesure PCT. Pour la mesure de l'efficacité, et uniquement pour le niveau 1, les versions FGH et JQW étaient plus difficiles que la version RST.

Discussion

Cette étude soutient l'utilisation de six nouvelles formes alternatives de la tâche PGNG (DKL, BCM, JQW, NPV et RST), avec néanmoins des limites concernant les versions JQW et FGH sur les mesures PCT et Efficacité. Les chercheur·e·s et les clinicien·ne·s qui s'intéressent à la performance et à la précision du temps de réponse peuvent utiliser les sept versions de la

PGNG sans risquer de subir des effets de version. Néanmoins, en ce qui concerne les mesures de performances en matière d'efficacité et de précision, il semblerait nécessaire d'utiliser les versions BCM, NPV, RST, DKL et XYZ.

Method

Participants

All participants were informed about the study goals. They gave their free and informed consent prior to the experiment in accordance with the Declaration of Helsinki. Participants were asked to decline from participation if they had past or current psychiatric, neurologic, or ocular symptoms, or conditions that may affect visual, upper-limb motor control, and cognitive functioning. All participants needed to be fluent in English. A total of 416 adults were recruited on the platform Prolific® to participate in the online versions of the PGNG. Of the 416 participants recruited, we rejected the data of all participants who had accuracy scores inferior or equal to 20% (see Table 1). We also excluded the data of the participants who obtained global accuracy scores less than 2.5 standard deviations from the mean accuracy of the total sample for at least one of the 3 levels (calculated for each PGNG version separately).

Table 1

Distribution of the Participants in Each PGNG Online Version After All Treatments

Versions	Included participants before preprocessing	Accuracy score inferior or equal to 20%	Performances < average - 2,5 s.-d.	Frame rate < 55 Hz	Included participants after preprocessing
XYZ	57	3	2	5	47
RST	61	5	2	2	52
NPV	58	2	3	3	50
JQW	58	5	2	3	48
FGH	59	4	3	0	52
DKL	66	9	4	3	50
BCM	57	2	2	3	50

Because letters were flashed on the screen every 600 msec, we excluded the data of all participants having devices with frame rates under 55 Hertz to ensure data quality. Each full participation was compensated with £1,63 and participants could only participate in the study of one form of the PGNG. Participants were between 18 and 64 years old, and randomly assigned to a PGNG version (see Table 2, in Appendices, section 4.1). The sample size was based on a power calculation (GPower version 3.1.9.7) showing that a minimum sample of 343 people would be sufficient for a small (.25) effect size with a 0.95 power level and .05 alpha level an ANOVA analysis. For a total population of 349 participants with an effect size of .25, we obtained a power of .95.

Material and procedure

The experimental scripts were created on PsychoPy (version 2021.2.3) and hosted on the website Pavlovia®. The six versions of the PGNG developed followed the same structure and level order as the original task (Langenecker & Nielson, 2003; Votruba & Langenecker, 2013). Each task lasted approximately 15 minutes (including examples and practice trials). Each level was preceded by written and vocal instructions and rules, and by at least one mandatory practice session. Participants could redo the practice at each level if needed before launching the task. During each level, a serial stream of letters was presented (white lower-case letter in Open Sans font, with a size of one quarter of the computer screen, on a grey background), each letter was presented for 600 msec with a 0 msec interstimulus interval. Participants were asked to respond as quickly and accurately as possible, by pressing the spacebar. A target is one of the three or two-letter targets, all the other letters of the alphabet are non-targets. Finally, a lure is a target letter which cannot be considered as a good response depending on the rule of levels 2 or 3. Excluding the practice trials for each level, level 1 included 33 targets and 192 non-targets, level 2 had 51 targets, 15 lures and 254 non-targets, and level 3 presented 51 targets,

14 lures and 263 non-targets. To avoid errors due to symmetrical graphic resemblance between lowercase letters, the letters “d”, “b”, “p”, and “q” were excluded from the BCM, DKL, JQW and NPV versions (see Appendices, section 4.2).

Measures

The PGNG task is composed of 5 measures (Langenecker *et al.*, 2007a; Votruba & Langenecker, 2013). The percentage of correct targets (PCT, for Levels 1, 2, and 3) measures sustained attention and set maintenance. This measure corresponds to the percentage of correct responses when considering only trials in which a keypress was expected depending on the instructions. The percentage of correct inhibition (PCI, for Levels 2 and 3) corresponds to the percentage of correct non-response to lures. The response time to targets (RT, for Levels 1, 2, and 3) is the average response time for correct targets for each level. RT measures simple (Level 1) and complex (Levels 2 and 3) processing speed in a multiple target search. The coefficient of variation of the response time to targets (RTCoV, Levels 1, 2, and 3) considers the variability of reaction times in the different age groups (Duchek *et al.*, 2009). The RTCoV is computed by dividing the individual standard deviation by the mean of the reaction times ($\times 100$), for each participant separately. Finally, the efficiency score (for Levels 1, 2, and 3) balances response time with accuracy, the highest efficiency score is obtained when responses are fast and accurate. For Level 1, the efficiency scores are computed by the following formula $(PCT/RT) \times 100$. For the 2 other difficulty levels, it corresponds to $(\{(5 \times PCT) + PCI\}/6)/RT \times 100$. In these last cases, the efficiency ratio includes prorated PCI and PCT based upon the higher proportion of targets to inhibitory trials.

Analyses

The analyses were conducted with R software (R Core Team, 2023). Each dependent variable was analysed separately through linear regression models using the *lm()* function of

the *stats* package (R Core Team, 2021). Post-hoc comparisons were computed through the *pairs()* function of the *emmeans* package (Lenth, 2021) by using Bonferroni adjustment (Jafari & Ansari-Pour, 2019). The independent variables were Forms (XYZ, RST, JQW, NPV, DKL, FGH, BCM) and Levels (level 1, level 2, level 3). The dependent variables were the percentage of correct targets (PCT, for levels 1, 2 and 3), the percentage of correct inhibition (PCI, for levels 2 and 3), the efficiency score (for levels 1, 2 and 3), the response time to targets (RT, for levels 1, 2 and 3), and the coefficient of variation of the response time to targets (RTCoV, levels 1, 2 and 3). For three out of five dependent variables (i.e., PCI, PCT, and RTCoV), the data were not normally distributed. We therefore standardised them using the *huge.npn()* function from the *huge* package (Zhao *et al.*, 2012). This function allows for normalising the data through non-paranormal transformation, which extends Gaussian graphical models to semi-parametric Gaussian copula models. Motivated by sparse additive models, the non-paranormal method estimates the Gaussian copula by marginally transforming the variables using smooth functions. Computationally, the estimation of a non-paranormal transformation is very efficient and only requires one pass of the data matrix (Liu *et al.*, 2009). The linear regression models contained 2 factors (i.e., versions, levels) and their interaction. Hereafter, only significant comparisons are reported.

Results

All means and standard deviations of each dependent variable for each PGNG version separately are presented in Table 3.

Table 3

Mean and Standard Deviation of Each PGNG Version

Version	Mean PCT (SD)	Mean PCI (SD)	Mean efficiency (SD)	Mean RT (s.d.)	Mean RTCoV (SD)
XYZ	78.77 (14.98)	66.94 (23.59)	17.34 (3.75)	452.76 (30.86)	12.54 (4.38)
RST	78.14 (15.96)	64,91 (24.49)	17.22 (3.96)	452.94 (32.95)	11.77 (3.02)
NPV	77.61 (14.46)	63,76 (27.03)	16.89 (3.34)	453.76 (23.65)	11.80 (3.07)
JQW	73.98 (14.59)	69,01 (18.85)	16.09 (3.24)	458.93 (24.88)	12.49 (3.40)
FGH	74.39 (16.05)	68,88 (22.27)	16.20 (3.92)	459.77 (28.48)	11.83 (3.37)
DKL	78.58 (12.56)	72,06 (24.19)	17.99 (3.35)	451.29 (27.03)	11.64 (2.62)
BCM	77.36 (14.96)	60 (23.95)	16.79 (3.51)	454.04 (28.78)	11.88 (3.46)

PCT analyses

The linear regression analysis (see Figure 2 in Appendices, section 4.3) showed a main effect of versions, $F(6, \text{Inf}) = 5.63$, $p < .001$, and levels, $F(2, \text{Inf}) = 123.48$, $p < .001$, and the interaction between both factors, $F(12, \text{Inf}) = 2.46$, $p = .004$. Post-hoc comparisons revealed significant differences between DKL and both JQW (estimate = 0.510, standard error = 0.103, $t = 4.964$, $p = .002$) and FGH (estimate = 0.443, standard error = 0.101, $t = 4.4$, $p = .025$). In addition, all levels were shown to be significantly different from one another: PCT performances of the participants were worse in level 1 compared to level 2 (estimate = -0.448, standard error = 0.067, $t = -6.715$, $p < .001$) and better compared to level 3 (estimate = 0.594, standard error = 0.067, $t = 8.901$, $p < .001$). They were also better in level 2 compared to level 3 (estimate = 1.042, standard error = 0.067, $t = 15.616$, $p < .001$). Despite the significant effect of the interaction, no significant differences were identified by the post-hoc comparisons ($ps > .073$).

PCI analyses

When analysing PCI (see Figure 3 in Appendices, section 4.3), the results showed a main effect of versions, $F(6, \text{Inf}) = 3.52, p = .002$, and levels, $F(1, \text{Inf}) = 34.27, p < .001$, but no significant interaction between them ($p = .052$). Despite a significant main effect of versions, no significant difference was resulted in the post hoc tests ($ps > .07$). However, post-hoc analysis revealed that levels 2 and 3 were shown to be significantly different from one another, PCI performances of the participants were better in level 2 compared to level 3 (estimate = 0.416, standard error = 0.072, $t = 5.795, p < .001$).

RT analyses

When analysing RTs (see Figure 4 in Appendices, section 4.3), results showed a main effect of versions, $F(6, \text{Inf}) = 2.28, p = .034$, and of levels, $F(2, \text{Inf}) = 74.66, p < .001$. No interaction was found ($p = .102$). Despite the main effect of versions, no significant difference was found in the post-hoc tests ($ps > .07$). The post-hoc comparisons showed participants' RTs to be slower in level 1 compared to level 2 (estimate = 4.011, standard error = 1.999, $t = 9.739, p < .001$), and faster in level 2 compared to level 3 (estimate = -22.421, standard error = 1.999, $t = -11.216, p < .001$).

RTCoV analyses

The analysis on RTCoV (see Figure 5 in Appendices, section 4.3) only showed a main effect of level, $F(2, \text{Inf}) = 8.58, p < .001$. The post-hoc analyses showed that RTCoV performances were slower in level 1 compared to level 2 (estimate = 0.308, standard error = 0.075, $t = 4.111, p = .002$), no other significant differences resulted (all $ps > .979$).

Efficiency analyses

The analysis (see Figure 6 in Appendices, section 4.3) revealed a main effect of versions, $F(6, \text{Inf}) = 6.59, p < .001$, and levels, $F(2, \text{Inf}) = 144.9, p < .001$, and a significant interaction

between versions and levels, $F(12, Inf) = 3.37, p = .001$. Post-hoc comparisons showed that the DKL version was significantly different from the FGH version (estimate = 1.786, standard error = 0.36, $t = 4.961, p = .002$), but also from the JQW (estimate = 1.899, standard error = 0.367, $t = 5.17, p < .001$) one. Moreover, all levels were shown to be significantly different from one another: as observed for PCT, Efficiency performances of the participants were worse in level 1 compared to level 2 (estimate = -1.544, standard error = 0.239, $t = -6.472, p < .001$) and better compared to level 3 (estimate = 2.467, standard error = 0.239, $t = 10.344, p < .001$). Performances of the participants were better in level 2 compared to level 3 (estimate = 4.011, standard error = 0.239, $t = 16.816, p < .001$).

The decomposition of the interaction showed the RST version was significantly different from the level 1 of the FGH (Level 1: estimate = -3.222, standard error = 0.618, $t = -5.218, p = .001$; Level 2: estimate = 0.597, standard error = 0.618, $t = 0.967, p = 1$; Level 3: estimate = -0.421, standard error = 0.618, $t = -0.681, p = 1$) and the JWQ ones (Level 1: estimate = -3.021, standard error = 0.63, $t = -4.794, p = .011$; Level 2: estimate = -0.956, standard error = 0.63, $t = -1.517, p = 1$; Level 3: estimate = 0.593, standard error = 0.63, $t = 0.941, p = 1$).

Discussion of PGNG study

The objective of this study was to compare and validate six new alternate versions of the PGNG task. We observed differences between levels of each PGNG version, with a main effect of levels on all dependent variables. For all PGNG versions, differences between levels were observed on all dependent variables, with performance being different in levels 1, 2, and 3 on PCT, PCI, RT, RTCoV, and Efficiency. As expected, PCI performance indicated an increasing difficulty between levels 2 and 3 (Langenecker *et al.*, 2007; Votruba & Langenecker, 2013). Interestingly, PCT, RT, RTCoV, and Efficiency performances were lower for level 1 compared to level 2, meaning that accuracy was greater and response times were faster for level 2 compared to level 1. These results are in contradiction with previous studies (Langenecker *et al.*, 2007b; Langenecker & Votruba, 2013) which reported a gradual increase in difficulty through all three levels, with poorer accuracies and slower response times. Compared to level 1, level 2 should require greater cognitive effort due to the addition of the inhibitory rule. Better performance for level 2 compared to level 1 could be interpreted by the possibility of anticipating good answers in level 2 by keeping the wanted letter target in working memory. Switching between two-letter targets at level 2 could be less effortful than maintaining three-letter targets in working memory, which could result in better accuracy and faster response time for level 2 compared to level 1. We found better performances for the PCT and the Efficiency variables on level 1 compared to level 3, performances were also greater on level 2 compared to level 3 for the PCT, PCI, RT and Efficiency measures. These results are supported by the literature (Langenecker *et al.*, 2007a; Votruba & Langenecker, 2013), showing that level 3 remains the hardest level of the PGNG task with a decreased ability to anticipate the next correct response due to an additional target letter in the working memory target set.

Our second hypothesis is not supported by our results. Whereas no main effect of the versions was observed for RTCoV performance, performance on the PCT, PCI, RT, and Efficiency variables were significantly impacted by the versions. Concerning PCT, the overall performance on the DKL version was significantly better than on the JQW and FGH ones. Concerning the PCI and RT measures, the significant main effects did not give rise to significant paired comparison differences. For Efficiency, performance on the DKL version was significantly better compared to the FGH and the JQW versions. Concerning the interactions between versions and levels, performance on level 1 of the RST version was better compared to that of the same level of the FGH and the JQW ones. However, although an interaction was significant for the PCT measure, the post-hoc analysis revealed no significant difference. To resume, the RST, XYZ, NPV, BCM, and DKL versions are similar in terms of performance, whereas the JQW and FGH ones present significant differences. More precisely, the JQW and FGH versions are globally more difficult compared to the DKL one, and level 1 of the JQW and FGH versions are more difficult than the same level of the RST form.

The observed differences for the JQW and FGH alternate versions can be explained with Baddeley's model of working memory (Baddeley & Hitch, 2019; Baddeley & Logie, 2012). As the phonological loop deals with sound and phonological information, letter patterns with plural sounds may be harder to retain in the short-term phonological store, causing disruptions of the control and regulation of cognitive processes. For example, in level 1 of the JQW version, participants had to press the spacebar of their computer every time they saw one of the three target letters. Remembering "JQW" letter sounds in their temporal order could be more difficult to prevent from decay than "BCM," as the former letter patterns count fewer syllables, or "XYZ", as this letter pattern is more familiar because of its position at the end of the alphabet. Conversely to PCT, PCI, and the Efficiency variables which involve several

executive and attentional capacities, the effect of version was not observed on simple perceptual-motor measures such as RT and RTCoV.

These results should be considered considering several limitations. As this study was conducted online, it was impossible to control all the experimental parameters. However, web-based and traditional laboratory studies provide equivalent results (Binoy *et al.*, 2023; Gosling *et al.*, 2004; Saban & Ivry, 2021). Also, the test-retest reliability of each alternate version should be investigated in further studies, examining performance stratified by age and education levels. Moreover, further linguistic studies could give interesting insights into the differences found between the letter patterns of the alternate versions. Moreover, non-target letters could have had a priming effect on target letters by temporal proximity (just before the target letter) and phonological resemblance. Finally, the participants of our study were from diverse countries and had diverse nationalities. The possible phonological impact of different accents when pronouncing the target and non-target letters on the five performance variables should be studied further.

To conclude, our results indicate that six new alternate versions of the original PGNG task may be used (DKL, BCM, JQW, NPV, and RST) by researchers and clinicians, with limits regarding the JQW and FGH versions on the PCT and Efficiency measures. Researchers and clinicians interested in response time performance and accuracy could use the seven versions of the PGNG without risking version effects. Researchers and clinicians interested in efficiency and accuracy performances should use the BCM, NPV, RST, DKL, and XYZ versions rather than the JQW and FGH ones.

Étude 5 : Performances, Odeurs et Musiques (POM)

Co-auteur·e·s : Roxane L. Bartoletti¹, Ambre Denis-Noël², Roman Cassese¹, Martine Adrian-Scotto³, Serge Antonczak³, Dirk D. Steiner¹, Xavier Corveleyn¹

Affiliations : ¹Université Côte d'Azur, LAPCOS, France ; ²Aix-Marseille Université, CNRS, Laboratoire de Psychologie Cognitive, UMR 7290, 3 place Victor Hugo, 13003 Marseille, France ; ³Université Côte d'Azur, CNRS, Institut de Chimie de Nice, UMR 7272, 28 avenue Valrose, 06108 Nice, France

Résumé

Introduction

L'influence des stimulations sensorielles sur notre cognition est plurielle, et il semblerait que de nombreux facteurs, tels que l'âge, l'extraversion, la difficulté et la nature de la tâche, les caractéristiques des stimuli sensoriels interagissent ensemble. Néanmoins, ces facteurs ont toujours été étudiés séparément. Cette étude avait donc pour objectif d'investiguer les effets de musiques et d'odeurs personnalisées ou imposées, favorables ou défavorables, diffusées séparément ou conjointement, sur les performances exécutives et les temps de réponse des adultes jeunes et âgé·e·s. Cette dernière étude pilote tente d'apporter quelques premières clés de réflexion au regard du modèle théorique proposé dans ce travail de thèse.

Méthode

Au total, 60 personnes ont réalisé l'expérience et étaient réparties en 2 groupes d'âge (« adultes jeunes » de 18 à 35 ans ; « adultes âgé·e·s » de 48 à 65 ans), puis en 2 sous-groupes environnementaux (groupe « environnements personnalisés » ; groupe « environnements imposés »). Dans le groupe « personnalisés », sur la base de leurs préférences, les musiques et

odorants choisis été sélectionnés dans les listes développées dans l'étude MOCC où étaient ajoutées les musiques apportées par les participant·e·s. Dans le groupe « imposés », les stimulations musicales et olfactives ne respectaient pas les choix des participant·e·s. Il leur était diffusé, selon leur groupe d'âge, les musiques et les odeurs considérées comme les plus favorables et les plus défavorables sur la base des résultats obtenus grâce à l'étude MOCC. Les performances exécutives des participant·e·s étaient testées dans différents environnements : uni-sensoriels (musique favorable ; musique défavorable ; odeur favorable ; odeur défavorable), multisensoriels congruents (odeurs et musiques favorables ; odeurs et musiques défavorables), multisensoriels incongruents (odeurs favorables et musiques défavorables ; odeurs défavorables et musiques favorables) et neutre (ni musiques ni odeurs diffusées).

Hypothèses

Sur la base du modèle théorique proposé dans cette thèse, les hypothèses suivantes ont été formulées :

- Les environnements favorables influencent positivement les performances subjectives et objectives des adultes jeunes et âgé·e·s comparativement aux environnements défavorables et incongruents.
- Les environnements multisensoriels permettent de meilleures performances objectives pour les adultes jeunes et âgé·e·s comparativement aux environnements unisensoriels.
- Les environnements multisensoriels congruents et favorables influencent positivement les performances objectives des adultes jeunes et âgé·e·s comparativement aux environnements multisensoriels congruents et défavorables et aux environnements multisensoriels incongruents.

- Les environnements personnalisés favorables influencent positivement les performances objectives des adultes jeunes et âgé·e·s comparativement aux environnements personnalisés défavorables et aux environnements imposés.

Résultats

Lorsque les participant·e·s sont immergés dans des environnements sensoriels perçus comme favorables pour se concentrer, l'évaluation subjective est positivement influencée. En comparaison avec des environnements défavorables et incongruents, la fatigue et la distraction sensorielle sont moins fortement ressenties en présence de stimuli perçus comme favorables, alors que les sentiments de motivation, de contrôle, de concentration et de compétence augmentent. Néanmoins, l'effet de l'âge et de la personnalisation des stimuli diffusés module l'influence de la favorabilité sur les ressentis de performances, avec notamment des différences plus marquées entre l'effet positif des environnements favorables et l'effet négatif des environnements défavorables sur les ressentis de distraction sensorielle, de concentration, de motivation et de compétence des adultes jeunes. En ce qui concerne les performances objectives, alors que la favorabilité perçue et le type de stimuli (musique vs. odeur) semble influencer la variabilité des temps de réponse, le nombre de stimuli, la congruence multisensorielle et la personnalisation de l'environnement influencent la précision des performances.

Discussion

Comme prévu par le modèle théorique des influences des environnements olfacto-auditifs sur les performances objectives et subjectives proposé dans ce travail de recherche, les facteurs de favorabilité perçue, de type et de nombre de stimulation, de congruence affective et de personnalisation influencent les performances objectives et subjectives des participant·e·s.

Cependant, il semble difficile d'établir des prédictions précises à l'aune de nos connaissances tant certains facteurs sont complexes à caractériser (difficultés de la tâche, favorabilité de l'environnement...), et intriqués entre eux. Au-delà de reproduire ces résultats, les futures recherches devront s'attacher à mieux modéliser et caractériser ces différents facteurs afin de prédire leur influence sur nos performances. Cela permettra de personnaliser les environnements sensoriels avec une plus grande précision en vue d'améliorer et de soutenir les performances cognitives et les ressentis de performances.

Méthode

Participant·e·s

Sur les 74 personnes qui ont accepté de participer à l'étude POM, 60 ont réalisé les 7 passations expérimentales prévues. Les participant·e·s devaient être de langue maternelle française, et être âgé·e·s entre 18 et 35 ans ($n = 30$) ou entre 48 et 65 ans ($n = 30$). Les personnes qui présentaient une condition physique, neurologique ou psychiatrique affectant les fonctions cognitives, sensorielles et motrices de la partie supérieure du corps, passées ou courant la période d'inclusion, ne pouvaient être recrutées pour réaliser l'expérience. Toutes les personnes étaient informées des objectifs de l'étude et avaient donné leur consentement écrit libre et éclairé une semaine avant le commencement de l'expérience, ainsi qu'au début de la première passation expérimentale. Un consentement oral devait ensuite être renouvelé à chaque début de passation pour que cette dernière puisse commencer.

Pour assurer une bonne gestion des données recueillies dans le cadre de cette étude, la cellule du Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD) de l'Université Côte d'Azur a été consultée. De plus, l'étude POM a été approuvée par le Comité d'Éthique pour les Recherches Non Interventionnelles de l'Université Côte d'Azur ($n^{\circ}2020--79$). Un avenant au protocole de l'étude POM a lui aussi été approuvé par le même comité ($n^{\circ}2021-053$).

Les participant·e·s étaient réparti·e·s en deux groupes selon leur âge (30 adultes jeunes de 18-35 ans, et 30 adultes âgé·e·s de 48-65 ans), puis en deux sous-groupes (environnement sensoriel personnalisé, et environnement sensoriel imposé, pour les données démographiques de chaque groupe voir Table 1). Un code de participation était attribué à chaque participant·e en fonction du groupe d'âge (« Y » pour adultes jeunes, « O » adultes âgé·e·s) et du sous-groupe d'appartenance (« P » pour environnement sensoriel personnalisé, « I » pour environnement sensoriel imposé), ainsi que d'un numéro de participation (de 1 à 15). Une

participation expérimentale complète, c'est-à-dire comptabilisant les 7 passations expérimentales, était défrayée de 80€ à la fin de la dernière passation.

Table 1

Données Socio-démographiques des Participant·e·s

Variables		Groupe Y		Groupe O	
		YP	YI	OP	OI
Genre	Femmes	14	12	10	13
	Hommes	1	2	5	2
	Non-binaires	0	1	0	0
Catégorie Socio-professionnelle	Artisanat, commerce, chef·fe d'entreprise, profession libérale	1	2	1	0
	Cadres, professions intellectuelles supérieures	0	2	4	7
	Employé·e	0	2	5	5
	Etudiant·e	14	9	2	1
	Profession intermédiaire	0	0	1	0
	Retraité·e	0	0	0	2
	Sans emploi	0	0	2	0
Latéralité manuelle	Droitière	13	13	13	15
	Gauchère	2	2	2	0

La taille de l'échantillon était basée sur un calcul de puissance statistique (Gpower version 3.1.9.7) montrant qu'un échantillon minimum de 58 personnes divisé en 2 groupes serait suffisant pour une petite taille d'effet (.20) avec un niveau de puissance de .95, une corrélation entre les mesures répétées à .25 et un niveau alpha de .05 dans une analyse ANOVA (mesures répétées). Pour un échantillon total de 60 participant·e·s divisé en 2 groupes et avec les mêmes paramètres, nous avons obtenu une puissance statistique de .96. Certaines analyses prenant en compte de 4 groupes (2 groupes d'âge et 2 sous-groupes d'environnements sensoriels), les analyses post-hoc de puissance statistique montrent que pour un échantillon total

de 60 participant·e·s, la puissance statistique atteinte est de .89 avec une taille d'effet à .30, une corrélation entre les mesures répétées à .25 et un niveau alpha de .05 (analyse ANOVA, mesures répétées).

Des analyses conduites avec R (R Core Team, 2023) ont été menées pour savoir si nos deux populations d'intérêt se différençaient des variables démographiques. Pour cela, nous avons comparé les réponses des deux groupes d'âge concernant leur extraversion, leurs habitudes musicales (fréquences d'écoute de musiques pour se concentrer) et de pratique d'un instrument musical (fréquence de la pratique), et leurs habitudes olfactives (fréquence de diffusion d'odeurs pour se concentrer). Ces analyses ont été réalisées à l'aide de tests de Student, via le package *rstatix* (Kassambara, 2021).

Un effet de l'âge entre les jeunes ($M = 2.40$, $SD = 0.93$) et les âgé·e·s ($M = 1.77$, $SD = 1.19$) est observé sur la fréquence d'écoute de la musique pour se concentrer $t(57.1) = -2.19$, $p = .003$. Cependant, aucun effet de l'âge n'est observé entre les jeunes et les âgé·e·s sur l'extraversion ($p = .33$), sur la fréquence de la pratique d'un instrument de musique ($p = .072$), ou sur la fréquence de diffusion d'odeurs pour se concentrer ($p = .793$).

Matériel et procédures

L'entièreté des questionnaires de cette étude était rendue numérique. Les scripts expérimentaux ont été créés sur PsychoPy (version 2021.2.3).

Les participant·e·s étaient accueillis dans la salle multi-comportementale de la plateforme expérimentale CoCoLab (*Complexity and Cognition Lab*) située 4^e étage du bâtiment de la Maison des Sciences Humaines et Sociales (MSHS Sud-Est) du campus de Saint Jean d'Angély de l'Université Côte d'Azur à Nice. La salle multi-comportementale est ventilée spécifiquement pour assurer un renouvellement de l'air permettant la manipulation d'odorants. Les participant·e·s étaient invité·e·s à prendre place à un poste d'expérimentation, composé

d'un ordinateur et d'enceintes dédiées à la diffusion de musiques. Le poste d'expérimentation ainsi que tout le matériel utilisé était désinfecté après chaque passation à l'aide de lingettes sans parfum.

Toutes les passations expérimentales étaient individuelles. Une participation complète comptabilisait 7 passations expérimentales, toutes espacées au minimum de 6 jours. Les premières, deuxièmes et dernières passations expérimentales suivaient la même procédure pour chaque participant·e·s. Les troisièmes, quatrièmes, cinquièmes et sixièmes passations expérimentales étaient randomisées. Pour faciliter la compréhension du déroulement global de l'étude et du matériel utilisé, cette sous-partie est présentée par passation.

Avant la 1^{ère} passation

Après avoir reçu par mail la feuille d'information et de consentement libre et éclairé signée, chaque participant·e était préalablement réparti·e dans un groupe d'âge ainsi que dans un sous-groupe d'environnement sensoriel (I pour « imposé » et P pour « personnalisé »), au minimum 1 semaine avant la première passation (voir Figure 1). Si la personne était incluse dans le sous-groupe P (environnement sensoriel personnalisé), il lui était demandé de renseigner 3 musiques qui lui étaient agréables et favorables pour se concentrer dont 2 au minimum sans parole, ainsi que 3 musiques qui lui étaient désagréables et défavorables pour se concentrer, dont 2 au minimum sans parole. Si un·e participant·e n'arrivait pas à renseigner une musique spécifique considérée par ce·tte dernier·e comme favorable et agréable, ou défavorable et désagréable, l'investigatrice pouvait aussi proposer des musiques sur la base des préférences et descriptions faites par le ou la participante. Dans cette éventualité, s'en suivait un échange et une sélection de musiques réalisés à distance.

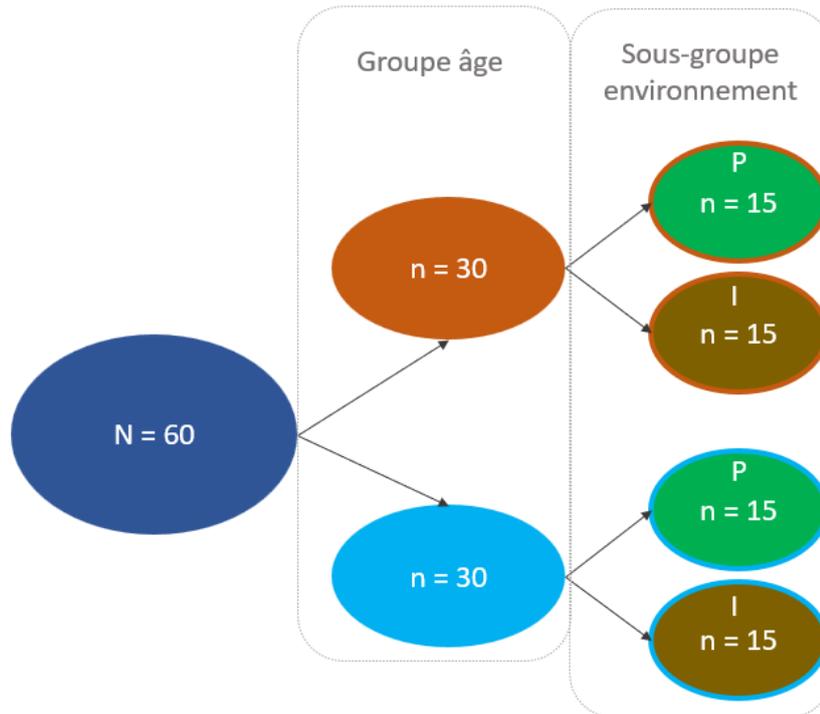


Figure 1 : Schématisation de la répartition des participant·e·s dans l'étude POM.

À la suite de cela, l'investigatrice achetait les 6 musiques renseignées par personne via le site Qobuz® dans un format 16-Bit et 44.1 kHz, en qualité CD. Les musiques achetées étaient ensuite dupliquées, chaque copie était modifiée pour durer au maximum 90 secondes en vue de la notation des stimuli sensoriels prévue lors de la première et deuxième passation expérimentale. Enfin, les participant·e·s devaient s'être abstenu·e·s de consommer de l'alcool et des drogues dans les 24 heures précédant chaque passation expérimentale, et s'être abstenu·e·s de consommer des boissons caféinées et du tabac 2 heures avant.

Procédures communes à chaque passation expérimentale :

Les objectifs étaient :

- Rappeler les objectifs de l'étude et renouveler le consentement libre et éclairé de chaque participant·e au début de chaque passation expérimentale.

- Attester d'un seuil de fatigue permettant la réalisation de la PGNG au début de chaque passation expérimentale.
- Attester de capacités olfactives normales des participant·e·s à la 1^{ère} passation et rejeter une potentielle hyposmie ou anosmie temporaire des participant·e·s pour la 2^{ème}, 3^{ème}, 4^{ème}, 5^{ème} et 6^{ème} passation expérimentale.

Après avoir rappelé les objectifs de l'étude, le déroulement de la séance, et après avoir demandé le renouvellement du consentement libre et éclairé de la personne par écrit, chaque passation débutait par la complétion du questionnaire de Pichot (Haba-Rubio & Krieger, 2011 ; Pichot & Brun, 1984) et la réalisation du *Sniffin' Stick Screening Version* (Fjaeldstad *et al.*, 2015 ; Hummel *et al.*, 1997 ; Kobal *et al.*, 1996) entièrement pour la première passation, et partiellement pour les autres passations (excepté la septième passation qui ne nécessitait pas l'évaluation des capacités olfactives).

❖ **Questionnaire de Pichot :**

Ce questionnaire avait pour but d'évaluer la fatigue ressentie. Le questionnaire de Pichot comprend 8 items notés de 0 (= pas du tout) à 4 (= extrêmement), 32 étant le score maximal (voir Annexes, section 5.1). Un score supérieur ou égal à 22 est considéré comme indiquant une fatigue excessive. En raison de la forte demande en ressources cognitives que requiert chaque passation expérimentale de cette étude, nous avons baissé le seuil de fatigue tolérée à 16/32, équivalent à une fatigue moyenne. Au-delà de 16, la séance expérimentale était reprogrammée à une date ultérieure. De plus, dans l'éventualité d'une cotation supérieure à 2 à l'item *J'ai du mal à me concentrer*, l'investigatrice prenait soin de questionner le ou la participante sur son ressenti de fatigue et de son impact éventuel sur sa capacité à se concentrer. À cette occasion,

il était rappelé aux participant·e·s qu'il était possible de réaliser plusieurs pauses durant la passation.

❖ **Le *Sniffin' Stick Screening Version* :**

Le *Sniffin' Stick Screening Version* était entièrement complété par les participant·e·s pour écarter tout risque d'hyposmie ou d'anosmie lors de la 1^{ère} passation expérimentale. Le *Sniffin' Stick Screening Version* est un test olfactif couramment utilisé dans la recherche pour l'évaluation rapide des capacités d'identification des odeurs. Il consiste en la présentation de 12 bâtonnets odorants, et chaque participant·e tente d'identifier l'odeur perçue parmi 4 propositions écrites, dont 3 sont des distracteurs. Un score supérieur ou égal à 9 identifications correctes validait les capacités olfactives du participant dans le cadre de l'expérience. En dessous de 9 identifications correctes, et en fonction du ressenti des capacités olfactives verbalisé par le ou la participant·e (fin de rhume, allergie passagère, etc.), la participation était soit reconduite, soit annulée. Pour la 1^{ère}, 2^{ème}, 3^{ème}, 4^{ème}, 5^{ème} et 6^{ème} passation expérimentale, les participant·e·s étaient invité·e·s à sentir et identifier l'odeur perçue de 3 bâtonnets odorants sélectionnés au hasard et provenant du *Sniffin' Stick Screening Version*. Si les participant·e·s étaient en incapacité de percevoir et identifier les 3 bâtonnets, la passation était déplacée à une date ultérieure.

1^{ère} passation expérimentale – Durée ~ 1 heure

Les objectifs de cette première passation étaient :

- Obtenir les données démographiques permettant de caractériser les échantillons de participant·e·s.
- Familiariser les participant·e·s à la tâche de la PGNG et au questionnaire de ressentis de performances (sans stimulation sensorielle).

- Obtenir la notation d'une première partie des stimuli par les participant·e·s, en vue d'une future sélection des stimuli sensoriels pour les participant·e·s du sous-groupe P (environnement sensoriel personnalisé).

Après avoir obtenu un score supérieur ou égal à 9 au *Sniffin' Stick Screening Version* lors de cette 1^{ère} passation, les participant·e·s devaient renseigner la fréquence d'écoute musicale et de diffusion d'odeurs durant des activités qui nécessitaient leur concentration, ainsi que leur pratique musicale (échelles de Likert allant de "jamais" équivalent à 0 jusqu'à "tout le temps" équivalent à 4, voir Annexes, section 5.1). Les participant·e·s étaient ensuite invité·e·s à répondre au *Revised Eysenck Personality Questionnaire – Abbreviated*, qui comprend 6 items formulés sous forme de questions, auxquelles chaque participant·e peut répondre par oui ou par non (voir Annexes, section 5.1). L'influence de l'extraversion des personnes sur leur capacité à réaliser une tâche cognitive avec la présence d'un fond musical a pu être identifiée dans certaines études (Avila *et al.*, 2012 ; Furnham & Strbac, 2002), bien que remise en cause (Gheewalla *et al.*, 2021 ; Kou *et al.*, 2018 ; Küssner, 2017 ; Lim *et al.*, 2022). L'obtention d'un score à l'EPQR-A permettait ainsi de pouvoir contrôler la similarité des échantillons et une possible influence de l'extraversion sur les données récoltées.

Les participant·e·s devaient renseigner leurs données socio-démographiques (âge, genre, latéralité manuelle et catégorie socio-professionnelle). La passation continuait ensuite par la réalisation d'une PGNG. Cette première réalisation de PGNG permettait aux participant·e·s de se familiariser avec la tâche expérimentale, ainsi qu'avec la manette utilisée dans le cadre de l'étude POM dont l'appui sur la touche R1 avec l'index droit permettait de répondre. La version de la PGNG utilisée parmi les 7 formes alternatives validées (XYZ, RST, BCM, NPV, DKL, FGH, JQW) était choisie aléatoirement et ne pouvait pas être réutilisée lors des autres passations expérimentales du ou de la participant·e afin de limiter les effets

d'apprentissage. Cette règle était appliquée pour chaque passation. Autrement dit, les participant·e·s ne réalisaient jamais deux fois la même version de PGNG sur les 7 passations prévues. Tous les détails concernant la tâche de la PGNG sont disponibles dans la sous-partie *Matériel et procédures* de l'étude *Alternative forms of the Parametric Go/No-Go* (étude PGNG). Après chaque niveau de PGNG réalisé (level 1, 2 et 3), un questionnaire de ressentis des performances, composé de 6 items (échelles de Likert, voir Annexes, section 5.1) était réalisé par les participant·e·s. Ces items portaient sur la fatigue, la concentration, la distraction sensorielle, le contrôle, la motivation et le ressenti de compétence. Les items portant sur la fatigue, la concentration et la distraction sensorielle étaient tirés de l'étude de Kiss et Linnell (2021) et ont été traduits, les autres items ont été créés dans le cadre de l'étude POM. Ce questionnaire avait pour but d'investiguer les ressentis de performances des participant·e·s en fonction des conditions expérimentales et des niveaux de la PGNG. Après avoir réalisé les 3 niveaux de la PGNG et après avoir répondu au questionnaire de ressenti des performances, les participant·e·s étaient invité·e·s à prendre 2 minutes de pause.

Les participant·e·s commençaient ensuite une première phase de notation de stimuli musicaux et olfactifs. Dans cette première phase, les participant·e·s indiquaient la favorabilité pour se concentrer, l'agréabilité, l'intensité, la familiarité perçues de stimuli musicaux et olfactifs. Pour limiter l'expérience à 1 heure par participant·e, la méthode de présentation des stimuli musicaux et olfactifs était celle développée dans l'étude *Music and Odors Characterization for Concentration* (étude MOCC, voir sous-partie *Materials*). Les stimuli étaient répartis en deux listes, les stimuli utilisés dans cette étude étaient les mêmes que ceux utilisés lors de l'étude MOCC (listes M1 et M2 pour les extraits musicaux, voir tableau 2 en Annexes section 3.1 ; listes O1 et O2 pour les stimuli olfactifs, tableau 3 en Annexes, même section). Ainsi, pour les deux sous-groupes I (environnement sensoriel imposé), les listes M1 et M2 contenaient 12 stimuli, et les listes O1 et O2 contenaient respectivement 15 et 14 stimuli.

Pour les deux sous-groupes P (environnement sensoriel personnalisé), les listes M1 et M2 contenaient 18 stimuli (12 stimuli en commun avec le sous-groupe I et 3 extraits musicaux favorables et 3 défavorables pour chaque participant·e), et les listes O1 et O2 contenaient respectivement 15 et 14 stimuli. Pour éviter une potentielle surstimulation sensorielle, chaque liste musicale et olfactive était divisée en deux. Au total, 8 demi-listes étaient constituées, et chaque participant·e devait noter 4 demi-listes de stimuli sensoriels dans cette première phase de notation, alternant entre les demi-listes de stimuli auditifs et olfactifs. Par conséquent, pour les sous-groupes I (environnement sensoriel personnalisé), une demi-liste musicale contenait 6 extraits musicaux, et une demi-liste olfactive contenait 7 stimuli (à l'exception d'une demi-liste qui contenait 8 stimuli). Pour les sous-groupes P (environnement sensoriel personnalisé), une demi-liste musicale contenait 9 extraits musicaux, et une demi-liste olfactive contenait 7 stimuli (à l'exception d'une demi-liste qui contenait 8 stimuli). Les demi-listes étaient contrebalancées de telle sorte que la moitié des participants commençait par des stimuli auditifs, et l'autre moitié par des stimuli olfactifs. Les stimuli sensoriels de chaque demi-liste étaient présentés en ordre aléatoire. Une fois les 4 demi-listes notées lors de cette première phase de notation, la 1^{ère} passation s'achevait par un débrief avec les participant·e·s.

2^{ème} passation expérimentale – Durée ~ 50 mins

Les objectifs de cette deuxième passation étaient :

- Obtenir une *baseline* des performances subjectives (ressentis de performances) et objectives (PCI, PCT, *Efficiency*, RT, RTCoV) des participant·e·s à la tâche de la PGNG (sans stimulation sensorielle).
- Obtenir la notation d'une deuxième partie des stimuli par les participant·e·s en vue d'une future sélection des stimuli sensoriels pour les participant·e·s du sous-groupe P (environnement sensoriel personnalisé).

Après avoir réalisé les procédures communes à chaque passation, la passation continuait ensuite par la réalisation d'une PGNG. Cette deuxième PGNG permettait d'obtenir une *baseline* des performances des participant·e·s et d'éviter les biais liés à la familiarisation. La version de la PGNG utilisée parmi 6 des 7 formes alternatives validées était choisie aléatoirement et ne pouvait pas être réutilisée lors des autres passations expérimentales du ou de la participante afin de limiter les effets d'apprentissage. Aussi, après chaque niveau de PGNG, les participant·e·s répondaient au questionnaire de ressentis de performances. Enfin, les participant·e·s étaient invité·e·s à prendre 2 mins de pause.

Les participant·e·s commençaient ensuite une deuxième phase de notation des stimuli musicaux et olfactifs. Cette deuxième phase de notation était similaire à la première effectuée lors de la première passation, seuls les stimuli musicaux et olfactifs notés étaient différents. Une fois que les 4 demi-listes restantes étaient notées, la 2^{ème} passation s'achevait par un débrief avec les participant·e·s.

Avant la 3^{ème} passation

Les scores de favorabilité, d'agréabilité, d'intensité et de familiarité perçues attribués aux 18 extraits musicaux et aux 15 odorants par les participant·e·s des sous-groupes P (environnement sensoriel personnalisé) étaient analysés. Pour chaque participant·e·s des sous-groupes P, la musique considérée comme la plus favorable pour se concentrer, la plus agréable et la moins intense, était sélectionnée. Cette musique était ensuite incluse dans le script de la 3^{ème}, 4^{ème}, 5^{ème}, et 6^{ème} passation expérimentale du ou de la participante, et était diffusée à chaque condition impliquant une stimulation musicale positive. Aussi, l'odorant considéré comme le plus favorable, le plus agréable, le plus familier et le moins intense, était sélectionné. De même que pour la musique, le numéro de l'odorant était inclus dans le script des passations

expérimentales à venir pour le ou la participante, et était diffusé à chaque condition impliquant une stimulation olfactive positive.

Cette opération de sélection était reproduite pour la sélection de la musique considérée comme la plus défavorable, la moins agréable et la plus intense. Cette musique était ensuite incluse dans le script des passations expérimentales à venir pour le ou la participante, et était diffusée à chaque condition impliquant une stimulation musicale négative. Aussi, l'odorant considéré comme le plus défavorable, le moins agréable, le moins familier et le plus intense, était sélectionné. De même, le numéro de l'odorant était inclus dans le script des passations expérimentales à venir pour le ou la participante, et était diffusé à chaque condition impliquant une stimulation olfactive négative.

Enfin, étaient imposés aux participant·e·s des sous-groupes I (environnements sensoriels imposés) des stimulations musicales et olfactives sélectionnées sur la base des résultats de l'étude MOCC. Ainsi, à l'ensemble des participant·e·s des sous-groupes I, étaient diffusée la musique *Liebestraumer* à chaque condition impliquant une stimulation musicale positive, l'odorant vanilline à chaque condition impliquant une stimulation olfaction positive, la musique *Purple Noise* à chaque condition impliquant une stimulation musicale négative, et l'odorant diméthylsulfure à chaque condition impliquant une stimulation olfaction négative.

Les musiques et odorants sélectionnés pour chaque participant·e des sous-groupes P sont disponibles en Annexes, section 5.2. Le genre musical, la tonalité et le *bpm* de chaque musique personnalisée ont été identifiés en consultant les sites internet *Every Noise at Once* (<https://everynoise.com>) et *Music Genre Finder* de *Chosic* (<https://www.chosic.com/music-genre-finder/?track=6zQnJ8yHqFpvlwXqrQKZkB>). Les détails des deux musiques et des deux odorants diffusés pour l'ensemble des participant·e·s des sous-groupes I sont disponibles en Annexes, section 3.1.

3^{ème}, 4^{ème}, 5^{ème} et 6^{ème} passations expérimentales randomisées – Durée (pour chacune) ~ 45 mins

Les objectifs de ces passations étaient :

- Obtenir des scores de performances subjectives (ressentis de performances) et objectives (PCI, PCT, *Efficiency*, RT, RTCoV) des participant·e·s à la tâche de la PGNG en fonction de conditions expérimentales (condition unisensorielle musicale, condition unisensorielle olfactive, condition multisensorielle congruente, condition multisensorielle incongruente).

Avant de commencer la tâche expérimentale, les participant·e·s étaient invité·e·s à positionner confortablement leur tête sur une mentonnière dotée d'un système de pinces. Le système de pinces permettait de diffuser les odorants proche du nez des participant·e·s. Une mouillette imbibée de l'odorant souhaité était ainsi maintenue par le système de pinces à environ 2 centimètres du nez du ou de la participante. Pour standardiser la position entre toutes les conditions expérimentales de l'étude, la mentonnière était aussi utilisée lors de conditions expérimentales ne nécessitant pas la diffusion d'odorants (c'est-à-dire à la condition unisensorielle musicale).

Après avoir réalisé les procédures communes à chaque passation, la passation expérimentale consistait en la réalisation d'une PGNG dans une des quatre conditions sensorielles expérimentales (condition unisensorielle musicale, condition unisensorielle olfactive, condition multisensorielle congruente, condition multisensorielle incongruente). Après chaque PGNG réalisée, les stimulations sensorielles étaient stoppées, et un questionnaire de ressentis de performances était complété par les participant·e·s.

Quatre conditions expérimentales étaient réalisées dans un ordre aléatoire pour chaque participant·e pour les passations 3, 4, 5 et 6 (une condition expérimentale par passation) :

- ❖ **Condition unisensorielle musicale.** Dans cette condition, les participant·e·s réalisaient une PGNG en condition unisensorielle musicale positive. Puis, après une pause de 2 mins, les participant·e·s réalisaient de nouveau la même forme de PGNG en condition unisensorielle musicale négative. L'ordre de présentation des conditions était contrebalancé entre les participant·e·s.

- ❖ **Condition unisensorielle olfactive.** Dans cette condition, les participant·e·s réalisaient une PGNG en condition unisensorielle olfactive positive. Avant le commencement de la PGNG, l'investigatrice s'assurait que les participant·e·s percevaient l'odorant diffusé. Puis, après une pause de 2 mins qui permettait à l'investigatrice de changer la mouillette imbibée d'odorant, les participant·e·s réalisaient de nouveau la même forme de PGNG en condition unisensorielle olfactive négative. L'ordre de présentation des conditions était contrebalancé entre les participant·e·s.

- ❖ **Condition multisensorielle congruente.** Dans cette condition, les participant·e·s réalisaient une PGNG en condition multisensorielle musicale et olfactive positive. Avant le commencement de la PGNG, l'investigatrice s'assurait que les participant·e·s percevaient l'odorant diffusé. Puis, après une pause de 2 mins qui permettait à l'investigatrice de changer la mouillette imbibée d'odorant, les participant·e·s réalisaient de nouveau la même forme de PGNG en condition multisensorielle musicale et olfactive négative. L'ordre de présentation des conditions était contrebalancé entre les participant·e·s.

- ❖ **Condition multisensorielle incongruente.** Dans cette condition, les participant·e·s réalisaient une PGNG en condition multisensorielle musicale positive et olfactive négative. Avant le

commencement de la PGNG, l'investigatrice s'assurait que les participant·e·s percevaient l'odorant diffusé. Puis, après une pause de 2 mins qui permettait à l'investigatrice de changer la mouillette imbibée d'odorant, les participant·e·s réalisaient de nouveau la même forme de PGNG en condition multisensorielle musicale négative et olfactive positive. L'ordre de présentation des conditions (musique positive et odorant négatif ou musique négative et odorant positif) était contrebalancé entre les participant·e·s.

Une fois la condition expérimentale terminée (comptabilisant deux PGNG et six questionnaires de ressentis de performances réalisés), la passation s'achevait par un débrief avec les participant·e·s.

7^{ème} passation expérimentale – Durée ~ 20 mins

Les objectifs de cette septième passation étaient :

- Obtenir une deuxième *baseline* des performances subjectives (ressentis de performances) et objectives (PCI, PCT, *Efficiency*, RT, RTCoV) des participant·e·s à la tâche de la PGNG (sans stimulation sensorielle) afin notamment de mesurer les effets d'apprentissage de la répétition de la tâche sur les 7 passations.

Après avoir réalisé les procédures communes à chaque passation, la passation continuait ensuite par la réalisation d'une PGNG. Cette dernière PGNG permettait d'obtenir une seconde *baseline* des performances des participant·e·s et ainsi contrôler les effets d'apprentissage. La version de la PGNG utilisée était la dernière forme alternative validée sur les 7 existantes. Après chaque niveau de PGNG, les participant·e·s répondaient au questionnaire de ressentis de performances. Après un débrief de la séance et de l'entièreté de l'expérience, les participant·e·s recevaient leur rétribution et l'expérience prenait fin.

Analyses

Toutes les analyses ont été conduites avec R (R Core Team, 2023). Nous avons cherché à savoir si nos groupes d'âge et d'environnements sensoriels (environnements imposés, sous-groupe « I », et environnements personnalisés, sous-groupe « P ») se différenciaient sur des variables subjectives et objectives. Pour cela, nous avons comparé les groupes d'âge et d'environnements sensoriels sur les ressentis de performances (fatigue, distraction sensorielle, concentration, motivation, contrôle et compétence) et les performances objectives (PCI, PCT, Efficience, RT et RTCoV, voir étude PGNG, sous-partie *Analyses*), récoltées lors de l'expérimentation. Toutes ces questions ont été examinées à l'aide de modèles linéaires à effets mixtes (LME) en utilisant la fonction *lmer()* du package *lme4* (Bates *et al.*, 2015). De plus, puisque les analyses s'appuient sur un design factoriel, les contrastes et les effets principaux ont été évalués via la méthode des « moyennes marginales estimées » (Searle *et al.*, 1980) à l'aide du package *emmeans* (Lenth, 2021). Cette méthode permet d'estimer les moyennes marginales prédites par un modèle donné pour différents types de contrastes tout en corrigeant les résultats pour les comparaisons multiples (i.e., ajustement de Tukey). Afin de s'assurer que les différentes analyses soient comparables entre elles, tous les LME relatifs à une question donnée possèdent la même structure de facteurs aléatoires. Les modèles concernant l'analyse des effets de familiarisation et d'apprentissage contiennent deux effets aléatoires (participant·e³ ; target⁴). Les modèles concernant l'analyse des effets de l'âge et de l'environnement sensoriel contiennent quatre effets aléatoires (participant·e ; bloc⁵ ; target ; seance⁶).

³ les performances de chaque participant·e à la variable d'intérêt

⁴ la version utilisée de la PGNG (XYZ, DKL, JQW, RST, NPV, FGH ou BCM)

⁵ le bloc de mesures aux séances 3, 4, 5 ou 6 (première PGNG et questionnaire de ressentis en bloc 1 ou deuxième PGNG et questionnaire de ressentis en bloc 2)

⁶ la séance (séance 1,2,3,4,5,6 ou 7).

Résultats

Sauf exception, seuls les résultats significatifs seront présentés.

1. Contrôle des échantillons de population : Effets du niveau de difficulté, des groupes d'âge et de l'effet de la personnalisation de l'environnement sensoriel sur les performances objectives lors de la séance 2

Cette analyse permet de s'assurer qu'en *baseline* à la séance 2, (1) les performances de la PGNG sont différentes selon le niveau de difficulté, (2) les performances objectives (PGNG) des adultes âgé·e·s sont moins élevées que celles des adultes jeunes, et (3) de s'assurer que l'homogénéité des performances objectives (PGNG) des sous-groupes environnements sensoriels I et P sont équivalentes.

Pour chacune des 5 variables analysées (PCI, PCT, Efficience, RT et RTCoV), nous avons construit un LME contenant 3 effets fixes (groupe d'âge : adultes âgé·e·s, « O » vs. adultes jeunes, « Y » ; environnement : environnements imposés, « I » ; environnements personnalisés, « P » ; niveau de difficulté : Lv.1, Lv.2, Lv.3) et 2 facteurs aléatoires (participant ; target).

Un effet principal du niveau de difficulté est observé sur les variables **PCI**, $F(1, 55.57) = 21.355, p < .001$, **PCT**, $F(2, 111.01) = 21.665, p < .001$, **Efficience**, $F(2, 111.01) = 26.909, p < .001$, et **RT**, $F(2, 111.01) = 17.881, p < .001$. Pour la variable **PCI**, les analyses post-hoc révèlent de meilleures performances au Lv.2 comparativement au Lv.3, estimation = 11.648, erreur standard = 2.52, $t = 4.621, p < .001$. Pour la variable **PCT**, les analyses post-hoc révèlent de moins bonnes performances au Lv.3 comparativement au Lv.2 et au Lv.1, respectivement, estimation = 13.950, erreur standard = 2.36, $t = 5.917, p < .001$, et, estimation = 12.922, erreur

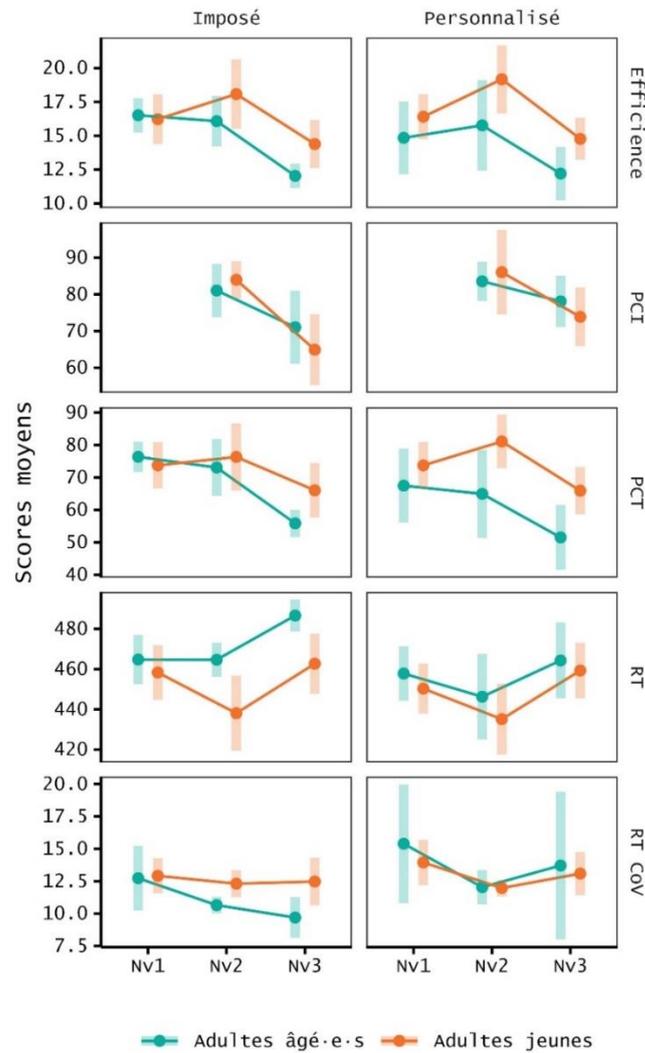
standard = 2.36, $t = 5.481$, $p < .001$. Pour la variable **Efficienc**e, les analyses post-hoc révèlent de moins bonnes performances au Lv.3 comparativement au Lv.2 et au Lv.1, respectivement, estimation = 3.906, erreur standard = .54, $t = 7.203$, $p < .001$, et, estimation = 2.627, erreur standard = .54, $t = 4.844$, $p < .001$. Pour la variable **RT**, les analyses post-hoc révèlent de moins bonnes performances au Lv.1 comparativement au Lv.2, estimation = 11.77, erreur standard = 3.68, $t = 3.201$, $p = .005$, ainsi que de moins bonnes performances au Lv.3 comparativement au Lv.2 et au Lv.1, respectivement, estimation = -22.10, erreur standard = 3.70, $t = -5.974$, $p < .001$, et, estimation = -10.33, erreur standard = 3.70, $t = -5.974$, $p < .001$. Aucun effet principal du niveau de difficulté n'est observé sur la variable RTCoV ($p = .057$).⁷

Un effet principal du groupe d'âge est observé sur les variables **Efficienc**e, $F(1, 51.20) = 5.10$, $p = .028$, **PCT**, $F(1, 51.12) = 5.44$, $p = .024$, et **RT**, $F(1, 51.58) = 4.29$, $p = .043$, avec les adultes jeunes significativement plus précis et plus rapides que les adultes âgé·e·s (voir Figure 1). Aucun effet principal du groupe d'âge n'est observé pour les variables **PCI** et **RTCoV** ($p > .632$). Aucun effet principal d'environnement n'a été observé à la deuxième séance entre I et P pour les mesures **PCI**, **PCT**, **Efficienc**e, **RT** et **RTCoV** ($ps > .074$). Aussi, aucun effet d'interaction n'est observé entre l'environnement et les autres variables ($ps > .265$), ni aucun effet d'interaction n'est observé entre groupe d'âge et environnement ($ps > .195$).

⁷ Cet effet principal du niveau de difficulté sera retrouvé dans chaque LME réalisé, tous facteurs confondus. Pour plus de lisibilité, cet effet principal ne sera donc pas détaillé pour chaque hypothèse explorée.

Figure 1

Performances Objectives des Participant-e-s à la Séance 2 selon le Groupe et le Niveau de Difficulté



Note. Line charts, les points représentent les réponses des adultes âgé-e-s (en bleu) et jeunes (en orange). Les barres d'erreurs représentent l'indice de dispersion (erreur standard).

2. Performances subjectives

2.1 Effets d'apprentissage

Cette analyse permet de tester les effets d'apprentissage liés à la répétition des séances expérimentales sur les performances subjectives des participant-e-s. Nous souhaitons donc

évaluer l'évolution des ressentis de performances des adultes jeunes et âgé·e·s entre les séances 1, 2 et 7.

Pour chacune des 6 variables analysées (fatigue, distraction sensorielle, concentration, motivation, contrôle, compétence), nous avons construit un LME contenant 3 effets fixes (groupe d'âge : adultes âgé·e·s, « O » vs. adultes jeunes, « Y » ; séance : 1 vs. 2 vs. 7 ; niveau de difficulté : Lv.1, Lv.2, Lv.3) et 2 facteurs aléatoires (participant ; target).

2.1.1 Distraction sensorielle

Un effet principal de séance est observé sur la distraction sensorielle, $F(2, 233.91) = 4.24, p = .016$. Les analyses post-hoc révèlent que les participant·e·s ont ressenti davantage de distraction sensorielle en séance 7 comparativement à la séance 1, estimation = -.412, erreur standard = 0.14, $t = -2.896, p = .012$. L'interaction entre groupe d'âge et séance n'est pas significative ($p > .718$).

2.1.2 Contrôle

Un effet principal de séance est observé sur le contrôle, $F(2, 359.80) = 4.92, p = .008$. Les analyses post-hoc révèlent que les participant·e·s ont ressentis plus de contrôle à la séance 7 comparativement à la séance 1, estimation = -.474, erreur standard = 0.16, $t = -2.996, p = .008$, et à la séance 2, estimation = -.394, erreur standard = 0.16, $t = -2.389, p = .046$. L'interaction entre groupe d'âge et séance n'est pas significative ($p > .319$).

2.1.3 Compétence

Un effet principal de séance est observé sur la compétence, $F(2, 392.09) = 16.02, p < .001$. Les analyses post-hoc révèlent que les participant·e·s ont ressenti plus de compétence à la séance 7 comparativement à la séance 1 et 2, respectivement, estimation = -.847, erreur

standard = 0.15, $t = -5.656$, $p < .001$, et, estimation = -.508, erreur standard = 0.16, $t = -3.240$, $p = .004$.

Un effet d'interaction entre groupe d'âge et séance est observé pour compétence, $F(2, 457.48) = 3.65$, $p = .027$. Les analyses post-hoc révèlent que les adultes âgé·e·s ont des ressentis de performances significativement plus positifs en séance 1, estimation = -.805, erreur standard = .20, $t = -3.933$, $p < .001$, et en séance 2, estimation = -.811, erreur standard = 0.21, $t = -3.849$, $p < .001$, comparativement à la séance 7. Aussi, les analyses post-hoc révèlent que les adultes jeunes ont des ressentis de performances significativement plus positifs en séance 2, estimation = -.683, erreur standard = 0.20, $t = -3.372$, $p = .002$, et en séance 7, estimation = .888, erreur standard = 0.20, $t = -4.37$, $p < .001$ comparativement à la séance 1.

Aucun effet principal de la séance, ni aucun effet d'interaction entre groupe d'âge et séance n'est observé sur la fatigue, la concentration et la motivation ($ps > .123$).

2.2 Effet de la favorabilité

Hypothèse : Les environnements favorables (POS) influencent positivement les performances subjectives des adultes jeunes et âgé·e·s comparativement aux environnements défavorables (NEG) et incongruents (INC).

Pour chacune des 6 variables analysées (fatigue, distraction sensorielle, concentration, motivation, contrôle, compétence), nous avons construit un LME contenant 3 effets fixes (groupe : adultes jeunes et environnements sensoriels personnalisés, « YP » vs. adultes jeunes et environnements sensoriels imposés, « YI » vs. adultes âgé·e·s et environnements sensoriels personnalisés, « OP » vs. adultes âgé·e·s et environnements sensoriels imposés, « OI » ;

favorabilité : positive, « POS » vs. négative, « NEG » vs. incongruent, « INC » vs neutre, « NONE » ; niveau de difficulté : Lv.1, Lv.2, Lv.3) et 2 facteurs aléatoires (participant ; target).

Pour une représentation graphique de tous les résultats de l'effet de la variable favorabilité sur les performances ressenties des groupes d'âge et des sous-groupes d'environnements sensoriels sur toutes les séances confondues, voir Figure 2.

2.2.1 Fatigue

Un effet principal de favorabilité est observé sur la fatigue, $F(3, 7.39) = 9.22, p = .007$. Les analyses post-hoc révèlent que la fatigue est significativement plus ressentie en conditions sensorielles INC et NEG comparativement aux conditions sensorielles POS, respectivement, estimation = .386, erreur standard = .10, $t = 3.736, p = .001$, et, estimation = .403, erreur standard = .09, $t = 4.432, p < .001$. L'interaction entre groupe et favorabilité, et l'interaction entre niveau de difficulté et favorabilité ne sont pas significatives ($ps > .066$).

2.2.2 Concentration

Un effet principal de favorabilité est observé sur la concentration, $F(3, 13.85) = 10.69, p < .001$. Les analyses post-hoc révèlent que la concentration est significativement plus fortement ressentie en conditions sensorielles **POS** comparativement aux conditions sensorielles **INC**, estimation = -.333, erreur standard = .09, $t = -3.743, p = .001$, et **NEG**, estimation = -.322, erreur standard = .08, $t = -3.979, p < .001$. De plus, le niveau de concentration est significativement perçu de façon plus élevée dans la condition sensorielle **NONE** comparativement aux conditions sensorielles **INC**, estimation = -.452, erreur standard = .12, $t = -3.808, p = .009$, et **NEG**, estimation = -.441, erreur standard = .11, $t = -3.979, p = .013$.

Un effet d'interaction est observé entre favorabilité et groupe pour la concentration, $F(9, 1861.79) = 3.46, p < .001$. Les analyses post-hoc révèlent que les participant·e·s du groupe YI et les participantes du groupe YP ressentent significativement moins de concentration en conditions **INC** comparativement aux conditions **POS**, respectivement, estimation = $-.535$, erreur standard = $.18, t = -3.055, p = .012$ et estimation = $-.708$, erreur standard = $.18, t = -4.044, p < .001$, et **NONE**, respectivement, estimation = $-.834$, erreur standard = $.19, t = -4.336, p < .001$ et estimation = $-.666$, erreur standard = $.19, t = -3.467, p = .004$. Le même résultat est observé pour les groupes YI et YP en conditions **NEG** comparativement aux conditions **NONE**, estimation = $-.595$, erreur standard = $.17, t = -3.408, p = .005$ et estimation = $-.839$, erreur standard = $.17, t = -4.810, p < .001$. Enfin, seul·e·s les participant·e·s du groupe YP se perçoivent significativement moins concentré·e·s en conditions **NEG** comparativement aux conditions **POS**, estimation = $-.881$, erreur standard = $.16, t = -5.653, p < .001$. L'interaction entre niveau de difficulté et favorabilité n'est pas significative ($p > .853$).

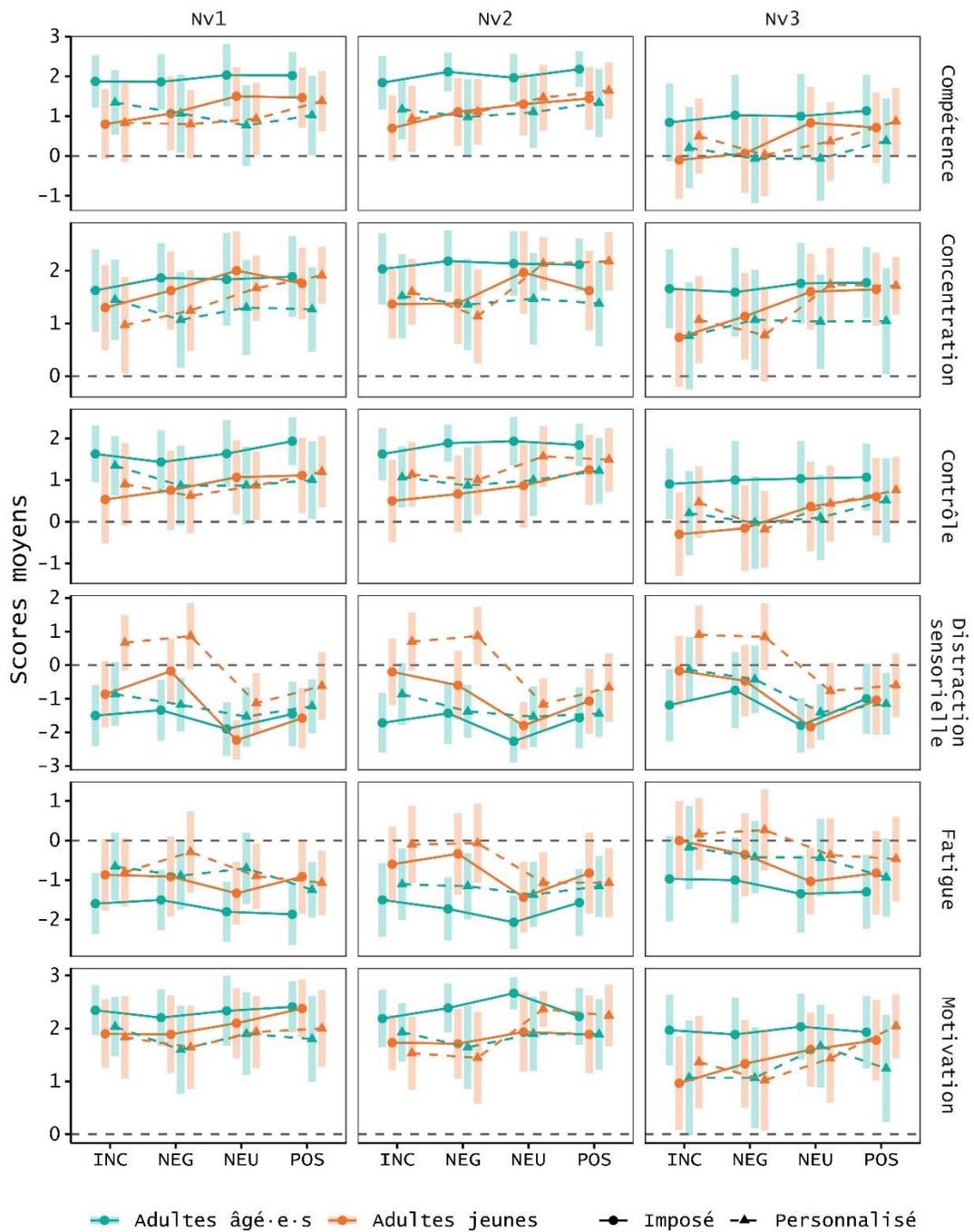
2.2.3 Distraction sensorielle

Un effet principal de favorabilité est observé sur la distraction sensorielle, $F(3, 56.17) = 5.63, p = .002$. Les analyses post-hoc révèlent que la distraction sensorielle est significativement plus ressentie en conditions sensorielles **INC** et **NEG** comparativement aux conditions sensorielles **POS** (positives), respectivement, estimation = $.708$, erreur standard = $.10, t = 6.797, p < .001$, estimation = $.689$, erreur standard = $.09, t = 7.534, p < .001$. De plus, la distraction sensorielle ressentie aux conditions sensorielles **INC** et **NEG** sont significativement plus forte comparativement aux conditions sensorielles **NONE** (sans stimulation sensorielle), respectivement, estimation = 1.284 , erreur standard = $.19, t = 6.773, p < .001$, estimation = 1.265 , erreur standard = $.18, t = 6.912, p = .001$.

Un effet d'interaction est observé entre favorabilité et groupe pour la distraction sensorielle, $F(9, 1861.25) = 7.163, p < .001$. Les analyses post-hoc révèlent que pour les participant·e·s du groupe OI, une plus forte distraction sensorielle est ressentie en conditions **NEG** et **POS** comparativement aux conditions **NONE**, respectivement, estimation = .905, erreur standard = .24, $t = 3.723, p = .006$, estimation = -.738, erreur standard = .24, $t = -3.037, p = .029$. Les participant·e·s du groupe OP ressentent une plus grande distraction sensorielle en condition **INC** comparativement aux conditions **POS** et **NONE**, estimation = -.705, erreur standard = .21, $t = 3.402, p = .004$, et, estimation = 1.065, erreur standard = .26, $t = 4.085, p = .002$. Les participant·e·s du groupe YI ressentent une plus grande distraction sensorielle en conditions **INC** comparativement aux conditions **POS**, estimation = -.854, erreur standard = .21, $t = 4.168, p < .001$, et **NONE**, estimation = 1.554, erreur standard = .24, $t = 4.476, p < .001$, et en conditions **NEG** comparativement aux conditions **POS**, estimation = .817, erreur standard = .18, $t = 4.476, p < .001$, et **NONE**, estimation = 1.554, erreur standard = .24, $t = 6.428, p < .001$. Dans ce même groupe, il est observé une moindre distraction sensorielle en conditions **NONE** qu'en conditions **POS**, estimation = -.737, erreur standard = .24, $t = -3.042, p = .029$. Enfin, les participant·e·s du groupe YP ressentent une plus grande distraction sensorielle en condition **INC** comparativement aux conditions **POS**, estimation = 1.405, erreur standard = .20, $t = 6.852, p < .001$, et **NONE**, estimation = 1.874, erreur standard = .26, $t = 7.323, p < .001$. Ce résultat est aussi observé entre les conditions **NEG** et les conditions **POS**, estimation = 1.491, erreur standard = .18, $t = 8.170, p < .001$, et **NONE**, estimation = 1.960, erreur standard = .24, $t = 8.110, p < .001$. L'interaction entre niveau de difficulté et favorabilité n'est pas significative ($p > .825$).

Figure 2

Effet de la Favorabilité sur les Performances Subjectives des Participant-e-s selon le Groupe et le Niveau de Difficulté



Note. Line charts, les points représentent les réponses des adultes âgé·e·s (en bleu) et jeunes (en orange). Les barres d'erreur représentent l'indice de dispersion (erreur standard).

2.2.4 Motivation

Un effet principal de favorabilité est observé sur la motivation, $F(3, 21.90) = 10.55, p < .001$. Les analyses post-hoc révèlent que la motivation est significativement moins ressentie en conditions sensorielles **NEG** comparativement aux conditions sensorielles **POS**, estimation = -.334, erreur standard = .07, $t = -4.928, p < .001$, et **NONE**, estimation = -.347, erreur standard = .09, $t = -4.063, p = .005$. Aussi, les analyses post-hoc révèlent que la motivation est moins ressentie en conditions sensorielles **INC** comparativement aux conditions sensorielles **POS**, estimation = -.224, erreur standard = .08, $t = -2.894, p = .02$.

Un effet d'interaction est observé entre favorabilité et groupe pour la motivation, $F(9, 1861.72) = 2.36, p = .01$. Les analyses post-hoc révèlent que les participant·e·s du groupe OP ressentent significativement moins de motivation en conditions **NEG** qu'en conditions **NONE**, estimation = -.404, erreur standard = .14, $t = -2.790, p = .03$. Les participant·e·s du groupe YI ressentent significativement plus de motivation en conditions **POS** comparativement aux conditions **INC**, estimation = -.477, erreur standard = .15, $t = -3.142, p = .009$, et aux conditions **NEG**, estimation = -.371, erreur standard = .14, $t = -2.746, p = .031$. Enfin, les participant·e·s du groupe YP ressentent significativement plus de motivation en conditions **POS** comparativement aux conditions **INC**, estimation = -.505, erreur standard = .15, $t = -3.326, p = .005$, et aux conditions **NEG**, estimation = -.727, erreur standard = .14, $t = -5.375, p < .001$. L'interaction entre niveau de difficulté et favorabilité n'est pas significative ($p > .637$).

2.2.5 Contrôle

Un effet principal de favorabilité est observé sur le contrôle, $F(3, 7.96) = 10.94, p = .003$. Les analyses post-hoc révèlent que le contrôle est significativement plus fortement

ressenti en conditions sensorielles **POS** comparativement aux conditions sensorielles **INC**, estimation = $-.326$, erreur standard = $.09$, $t = -3.650$, $p = .002$, et **NEG**, estimation = $-.433$, erreur standard = $.08$, $t = -5.526$, $p < .001$. L'interaction entre groupe et favorabilité, et l'interaction entre niveau de difficulté et favorabilité ne sont pas significatives ($ps > .087$).

2.2.6 Compétence

Un effet principal de favorabilité est observé sur la compétence, $F(3, 6) = 10.29$, $p = .009$. Les analyses post-hoc révèlent que la compétence est significativement plus fortement ressentie en conditions sensorielles **POS** comparativement aux conditions sensorielles **INC**, estimation = $-.378$, erreur standard = $.08$, $t = -4.477$, $p < .001$, et **NEG**, estimation = $-.365$, erreur standard = $.07$, $t = -4.921$, $p < .001$.

Un effet d'interaction est observé entre favorabilité et groupe pour la compétence, $F(9, 1860.47) = 2.10$, $p = .026$. Les analyses post-hoc révèlent que les participant·e·s du groupe YI ressentent significativement moins de compétence en conditions **INC** comparativement aux conditions **POS**, estimation = $-.535$, erreur standard = $.18$, $t = -3.055$, $p = .012$, et aux conditions **NONE**, estimation = $-.834$, erreur standard = $.19$, $t = -4.336$, $p < .001$. Dans ce même groupe, les participant·e·s ont aussi ressenti significativement moins de compétence en conditions **NEG** comparativement aux conditions **NONE**, estimation = $-.595$, erreur standard = $.17$, $t = -3.408$, $p = .005$. Pour finir, les participant·e·s du groupe YP ont un sentiment significativement plus fort de compétence en conditions **POS** comparativement aux conditions **INC**, estimation = $-.708$, erreur standard = $.18$, $t = -4.044$, $p < .001$, et aux conditions **NEG**, estimation = $-.881$, erreur standard = $.16$, $t = -6.53$, $p < .001$. Les participant·e·s du même groupe ont rapporté avoir plus de sentiment de compétence lors des conditions **NONE** comparativement aux conditions **INC**, estimation = $-.666$, erreur standard = $.19$, $t = -3.467$, $p = .004$, et **NEG**, estimation = $-.839$,

erreur standard = .17, $t = -4.810$, $p < .001$. L'interaction entre niveau de difficulté et favorabilité n'est pas significative ($p > .654$).

3. Performances objectives

3.1 Effets d'apprentissage

Cette analyse permet de tester les effets d'apprentissage sur les variables de performances objectives à la PGNG (PCI, PCT, Efficience, RT et RTCoV) des participant·e·s entre les séances 1, 2 et 7.

Pour chacune des 5 variables analysées (PCI, PCT, Efficience, RT, RTCoV), nous avons construit un LME contenant 3 effets fixes (groupe d'âge : adultes âgé·e·s, « O » vs. adultes jeunes, « Y » ; séance : 1 vs. 2 vs. 7 ; niveau de difficulté : Lv.1, Lv.2, Lv.3) et 2 facteurs aléatoires (participant ; target).

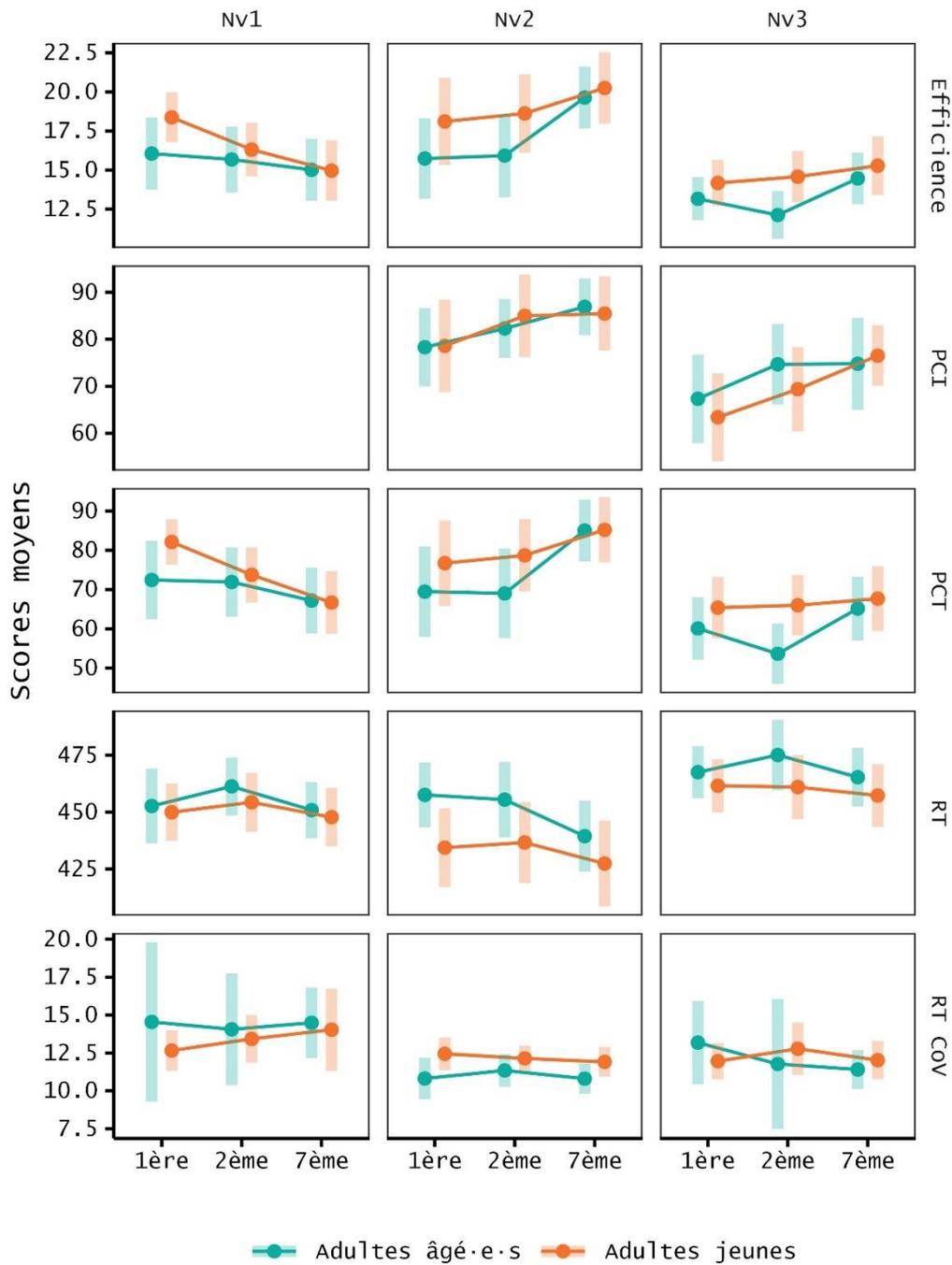
Pour une représentation graphique de tous les résultats de l'effet d'apprentissage sur les performances objectives des participant·e·s entre les séances 1, 2 et 3, voir Figure 3.

3.1.1 PCI

Un effet principal de séance est observé, $F(2, 243.72) = 10.795$, $p < .001$. Les analyses post-hoc révèlent de moins bonnes performances à la séance 1 comparativement à la séance 2 et 7, respectivement, estimation = -5.326, erreur standard = 1.80, $t = -2.967$, $p = .009$, et, estimation = -8.254, erreur standard = 1.82, $t = -4.535$, $p < .001$. L'interaction entre groupe d'âge et séance n'est pas significative ($p > .837$).

Figure 3

Effet d'Apprentissage sur les Performances Subjectives des Participant-e-s selon le Groupe et le Niveau de Difficulté



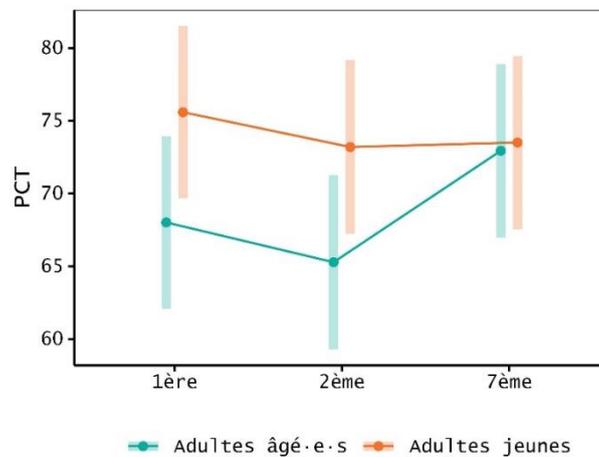
Note. Line charts, les points représentent les réponses des adultes âgé·e·s (en bleu) et jeunes (en orange). Les barres d'erreurs représentent l'indice de dispersion (erreur standard).

3.1.2 PCT

Un effet principal de séance est observé, $F(2, 456.53) = 3.537, p = .03$. Les analyses post-hoc révèlent une différence significative entre la séance 2 et la séance 7, estimation = -3.983, erreur standard = 1.53, $t = -2.606, p = .026$ (voir Figure 4).

Figure 4

Effet d'Apprentissage sur la Variable PCT selon le Groupe d'Âge et la Séance



Note. Line charts, les points représentent les réponses des adultes âgé·e·s (en bleu) et jeunes (en orange). Les barres d'erreurs représentent l'indice de dispersion (erreur standard).

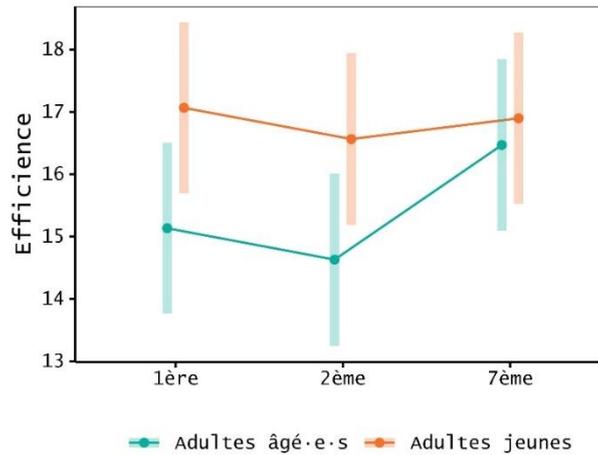
Un effet d'interaction est observé entre groupe d'âge et séance, $F(4, 457.12) = 13.464, p < .001$. Les analyses post-hoc révèlent que seul·e·s les participant·e·s du groupe d'âge O (adultes âgé·e·s) ont de meilleures performances en séance 7 comparativement aux séances 1 et 2, estimation = -4.925, erreur standard = 1.97, $t = -2.501, p = .034$, et, estimation = -7.658, erreur standard = 2.04, $t = -3.757, p < .001$.

3.1.3 Efficience

Un effet principal de séance est observé, $F(2, 449.26) = 4.822, p = .008$. Les analyses post-hoc révèlent une différence significative entre la séance 2 et la séance 7, estimation = -1.085, erreur standard = 0.35, $t = -3.105, p = .006$ (voir Figure 5).

Figure 5

Effet d'Apprentissage sur la Variable Efficience selon le Groupe d'Âge et la Séance



Note. Line charts, les points représentent les réponses des adultes âgé·e·s (en bleu) et jeunes (en orange). Les barres d'erreurs représentent l'indice de dispersion (erreur standard).

Un effet d'interaction est observé entre groupe d'âge et séance, $F(4, 457.12) = 13.517, p < .001$. Les analyses post-hoc révèlent que seul·e·s les participant·e·s du groupe d'âge O ont de meilleures performances en séance 7 comparativement aux séances 1, estimation = -1.335, erreur standard = .45, $t = -2.962, p = .009$, et 2, estimation = -1.838, erreur standard = 0.47, $t = -3.941, p < .001$.

3.1.4 RT

Un effet principal de séance est observé, $F(2, 287.68) = 8.395, p < .001$. Les analyses post-hoc révèlent des temps de réponse plus rapides à la séance 7 comparativement à la séance

1, estimation = 6.094, erreur standard = 2.34, $t = 2.608$, $p = .026$, et 2, estimation = 9.762, erreur standard = 2.40, $t = 4.060$, $p < .001$. L'interaction entre groupe d'âge et séance n'est pas significative ($p > .416$).

3.1.5 RTCoV

Aucun effet principal de la séance n'est observé ($p = .968$). L'interaction entre groupe d'âge et séance n'est significative ($p = .535$).

3.2 Effets de l'âge

Hypothèse : Les performances objectives à toutes les variables des adultes jeunes sont meilleures comparativement aux adultes âgé·e·s à toutes les séances.

Pour chacune des 5 variables analysées (PCI, PCT, Efficience, RT, RTCoV), nous avons construit un LME contenant 3 effets fixes (groupe d'âge : adultes âgé·e·s, « O » vs. adultes jeunes, « Y » ; environnement : environnements imposés, « I » ; environnements personnalisés, « P » ; niveau de difficulté : Lv.1, Lv.2, Lv.3) et 2 facteurs aléatoires (participant ; target). Pour une représentation graphique de tous les résultats de l'effet d'âge sur les performances objectives des participant·e·s.

3.2.1 PCI, PCT & Efficience

Aucun effet du groupe d'âge n'est observé ($ps > .073$).

3.2.2 RT

Un effet principal du groupe d'âge est observé sur la variable RT, $F(1, 57.99) = 6.734$, $p = .012$ (voir Figure 6). Les analyses post-hoc révèlent des temps moyens de réponses plus

rapides pour les adultes jeunes comparativement aux adultes âgé·e·s, estimation = 14.285, erreur standard = 5.51, $t = 2.595$, $p = .012$.

3.2.3 RTCoV

Un effet principal du groupe d'âge est observé sur la variable RTCoV, $F(1, 57.96) = 4.267$, $p = .043$ (voir figure 6). Les analyses post-hoc révèlent de plus basses performances pour les adultes âgé·e·s comparativement aux adultes jeunes, estimation = -.731, erreur standard = .35, $t = -2.066$, $p = .043$.

3.3 Effet de la favorabilité

Hypothèse : Les environnements favorables influencent positivement les performances objectives des adultes jeunes et âgé·e·s comparativement aux environnements défavorables.

Pour chacune des 5 variables analysées (PCI, PCT, Efficience, RT, RTCoV), nous avons construit un LME contenant 3 effets fixes (groupe d'âge : adultes âgé·e·s, « O » vs. adultes jeunes, « Y » ; favorabilité : positive, « POS » vs. négative, « NEG » vs. incongruent, « INC » vs neutre, « NONE » ; niveau de difficulté : Lv.1, Lv.2, Lv.3) et 2 facteurs aléatoires (participant ; target). Les performances à la séance 1 ont été retirées des analyses.

3.3.1 PCI, PCT & Efficience

Aucun effet principal de favorabilité n'est observé ($ps > .219$). L'interaction entre le groupe d'âge et la favorabilité, et l'interaction entre niveau de difficulté et favorabilité n'est pas significative ($ps > .239$).

3.3.2 RT

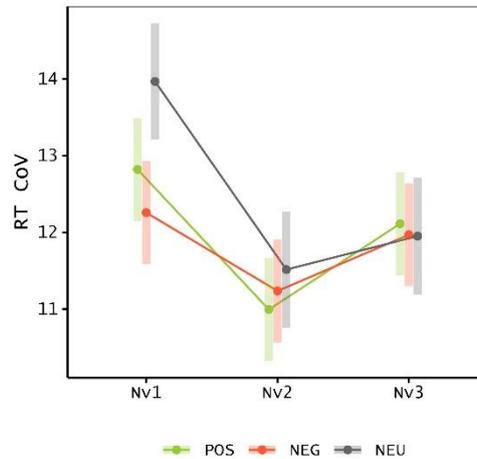
Un effet principal de favorabilité est observé sur la variable RT, $F(2, 1347.04) = 4.783$, $p = .009$. Les analyses post-hoc révèlent des temps moyens de réponses plus rapides en conditions sensorielles **NONE** comparativement aux conditions sensorielles **POS**, estimation = -4.332, erreur standard = 1.46, $t = -2.967$, $p = .009$, et aux conditions sensorielles **NEG**, estimation = 3.653, erreur standard = 1.46, $t = 2.500$, $p = .034$. L'interaction entre le groupe d'âge et la favorabilité, et l'interaction entre niveau de difficulté et favorabilité ne sont pas significatives ($ps > .129$).

3.3.3 RTCoV

Un effet principal de favorabilité est observé sur la variable RTCoV, $F(2, 1347.27) = 3.953$, $p = .019$. Les analyses post-hoc révèlent de plus basses performances aux conditions **NONE** comparativement aux conditions **NEG**, estimation = -.016, erreur standard = .24, $t = -2.758$, $p = .016$. Un effet d'interaction est observé entre niveau de difficulté et favorabilité, $F(4, 1347.11) = 2.866$, $p = .022$. Les analyses post-hoc révèlent que les conditions environnementales **NEG** et **POS** permettent de meilleures performances au Lv.1 comparativement aux conditions environnementales **NONE**, respectivement, estimation = -1.711, erreur standard = .41, $t = -4.181$, $p < .001$, et, estimation = 1.148, erreur standard = .41, $t = 2.804$, $p = .014$ (voir Figure 6).

Figure 6

Effet de la Favorabilité sur les Performances en RTCoV des Participant·e·s Selon les Niveaux de Difficultés

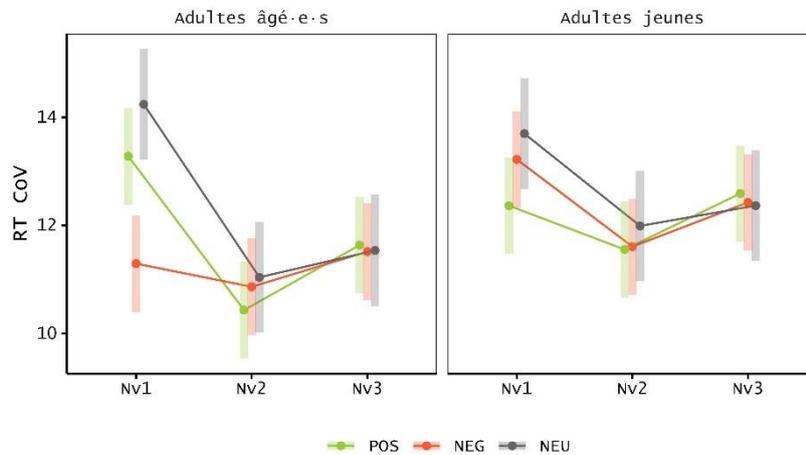


Note. Line charts, les points représentent les réponses moyennes des participant·e·s en conditions environnementales positives (en vert), négatives (en orange) et neutres (en gris). Les barres d'erreurs représentent l'indice de dispersion (erreur standard).

Un effet de triple interaction est observé entre niveau de difficulté, groupe d'âge et favorabilité, $F(4, 1347.11) = 3.254, p = .011$ (voir Figure 7). Les analyses post-hoc révèlent que les conditions environnementales **NEG** permettent de meilleures performances aux participant·e·s du groupe O au Lv.1 comparativement aux conditions environnementales **NONE** et **POS**, respectivement, estimation = -2.948, erreur standard = .58, $t = -5.091, p < .001$, et, estimation = -1.986, erreur standard = .52, $t = -3.816, p < .001$. L'interaction entre groupe d'âge et favorabilité n'est pas significative ($p > .108$).

Figure 7

Effet de la Favorabilité sur les Performances en RTCoV des Participant·e·s Selon les Niveaux de Difficultés et le Groupe d'Âge



Note. Line charts, les points représentent les réponses moyennes des participant·e·s en conditions environnementales positives (en vert), négatives (en orange) et neutres (en gris). Les barres d'erreurs représentent l'indice de dispersion (erreur standard).

3.4 Effet du nombre de stimulations

Hypothèse : Les environnements multisensoriels permettent de meilleures performances objectives pour les adultes jeunes et âgé·e·s comparativement aux environnements unisensoriels.

Pour chacune des 5 variables analysées (PCI, PCT, Efficience, RT, RTCoV), nous avons construit un LME contenant 3 effets fixes (groupe d'âge : adultes âgé·e·s, « O » vs. adultes jeunes, « Y » ; nombre de stimulations : environnements unisensoriels musicaux, « MUS » vs. environnements unisensoriels olfactifs, « ODO », vs. environnements multisensoriels, « MULTI » vs. environnements neutres, « NONE » ; niveau de difficulté : Lv.1, Lv.2, Lv.3) et

2 facteurs aléatoires (participant ; target). Les performances à la séance 1 ont été retirées des analyses.

3.4.1 PCI, PCT

Aucun effet principal nombre de stimulations n'est observé sur les variables PCI et PCT ($ps > .074$). L'interaction entre groupe d'âge et nombre de stimulations, et l'interaction entre niveau de difficulté et favorabilité ne sont pas significatives ($ps > .147$).

3.4.2 Efficience

Un effet principal du nombre de stimulations est observé sur l'efficience, $F(3, 1337.2) = 3.216, p = .022$. Les analyses post-hoc révèlent des performances plus rapides et précises en conditions MUS comparativement à MULTI, estimation = .645, erreur standard = .21, $t = -3.082, p = .011$. L'interaction entre groupe d'âge et nombre de stimulations, et l'interaction entre niveau de difficulté et favorabilité ne sont pas significatives ($ps > .068$).

3.4.3 RT

Un effet principal du nombre de stimulations est observé sur la variable RT, $F(3, 1300.95) = 6.381, p < .001$. Les analyses post-hoc révèlent des temps moyens de réponses plus lents en MULTI comparativement à NONE et MUS, respectivement, estimation = .6446, erreur standard = 1.60, $t = -4.038, p < .001$, et, estimation = -4.982, erreur standard = 1.60, $t = -3.121, p = .01$. L'interaction entre groupe d'âge et nombre de stimulations n'est pas significative, et l'interaction entre niveau de difficulté et favorabilité ne sont pas significatives ($ps > .08$).

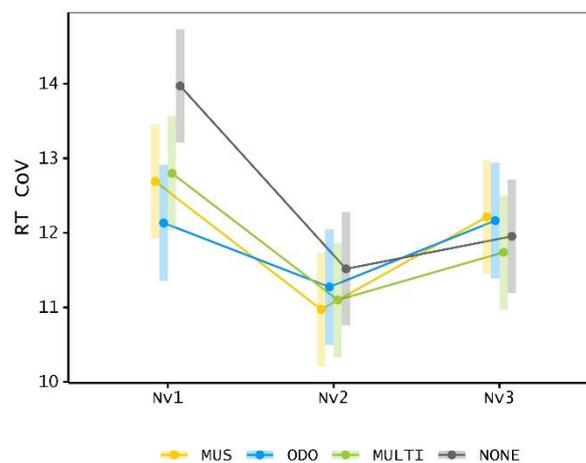
3.4.4 RTCoV

Aucun effet principal nombre de stimulations n'est observé sur la variable RTCoV ($p > .06$). Un effet d'interaction est observé entre niveau de difficulté et nombre de stimulations, $F(6, 1341.12) = 2.178, p = .043$ (voir Figure 8). Les analyses post-hoc révèlent que les

conditions environnementales **NONE** permettent de moins bonnes performances au Lv.1 comparativement aux conditions environnementales **MUS**, estimation = -1.283, erreur standard = .45, $t = -2.854$, $p = .023$, **ODO**, estimation = 1.838, erreur standard = .46, $t = 3.990$, $p < .001$, et **MULTI**, estimation = 1.170, erreur standard = .45, $t = 2.594$, $p = .047$. L'interaction entre groupe d'âge et nombre de stimulations n'est pas significative ($p > .357$).

Figure 8

Effet du Nombre de Stimulation sur les Performances en RTCoV des Participant·e·s Selon les Niveaux de Difficultés



Note. Line charts, les points représentent les réponses moyennes des participant·e·s en conditions environnementales multisensorielles (en vert), unisensorielles olfactives (en bleu), unisensorielles musicales (en jaune), et neutres (en gris). Les barres d'erreurs représentent l'indice de dispersion (erreur standard).

3.5 Effet de la congruence de l'environnement

Hypothèse : Les environnements multisensoriels congruents et favorables influencent positivement les performances objectives des adultes jeunes et âgé·e·s comparativement aux environnements multisensoriels congruents et défavorables et aux environnements multisensoriels incongruents.

Pour chacune des 5 variables analysées (PCI, PCT, Efficience, RT, RTCoV), nous avons construit un LME contenant 3 effets fixes (groupe d'âge : adultes âgé·e·s, « O » vs. adultes jeunes, « Y » ; congruence de l'environnement : environnements multisensoriels favorables, « multiPOS » vs. environnements multisensoriels défavorables, « multiNEG » vs. environnements multisensoriels incongruents, « multiINC » ; niveau de difficulté : Lv.1, Lv.2, Lv.3) et 2 facteurs aléatoires (participant ; target). Les performances à la séance 1 ont été retirées des analyses.

3.5.1 PCI, RT

Aucun effet principal de congruence de l'environnement n'est observé sur les variables PCI et RT ($ps > .068$). L'interaction entre groupe d'âge et congruence de l'environnement, et l'interaction entre niveau de difficulté et favorabilité ne sont pas significatives ($ps > .12$).

3.5.2 PCT

Un effet principal de congruence de l'environnement est observé, $F(2, 648.07) = 5.402$, $p = .005$. Les analyses post-hoc révèlent de meilleures performances aux conditions multisensorielle **multiINC** comparativement conditions multisensorielles **multiNEG**, estimation = 3.784, erreur standard = 1.17, $t = 3.247$, $p = .004$. L'interaction entre groupe d'âge et congruence, et l'interaction entre niveau de difficulté et favorabilité ne sont pas significatives ($ps > .316$).

3.5.3 *Efficiencie*

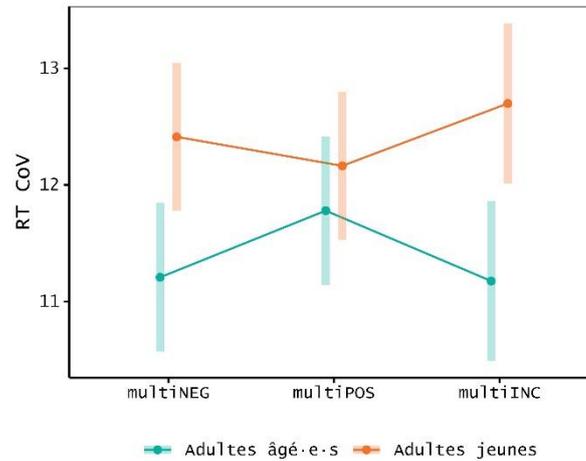
Un effet principal de congruence de l'environnement est observé, $F(2, 647.02) = 4.292$, $p = .014$. Les analyses post-hoc révèlent de meilleures performances aux conditions multisensorielle **multiINC** comparativement conditions multisensorielles **multiNEG**, estimation = .772, erreur standard = .27, $t = 2.886$, $p = .011$. L'interaction entre groupe d'âge et congruence, et l'interaction entre niveau de difficulté et favorabilité ne sont pas significatives ($ps > .425$).

3.5.4 *RTCov*

Aucun effet principal de congruence de l'environnement n'est observé ($p = .627$). Un effet d'interaction est observé entre congruence de l'environnement et groupe d'âge, $F(2, 645.74) = 3.971$, $p = .019$ (voir Figure 9). Les analyses post-hoc révèlent que les conditions environnementales **multiINC** permettent de meilleures performances pour les participant·e·s O comparativement aux participant·e·s du groupe Y, estimation = -1.523, erreur standard = .50, $t = -3.052$, $p = .003$, les autres contrastes ne sont pas significativement différents ($ps > .198$). L'interaction entre niveau de difficulté et favorabilité ne sont pas significatives ($p = .585$).

Figure 9

Effet de la Congruence Sensorielle sur les Performances en RTCoV des Participant·e·s Selon le Groupe d'Âge



Note. Line charts, les points représentent les réponses des adultes âgé·e·s (en bleu) et jeunes (en orange). Les barres d'erreurs représentent l'indice de dispersion (erreur standard).

3.6 Effet du type de stimulation

Aucune hypothèse n'était proposée pour l'étude de cet effet.

Pour chacune des 5 variables analysées (PCI, PCT, Efficience, RT, RTCoV), nous avons construit un LME contenant 3 effets fixes (groupe d'âge : adultes âgé·e·s, « O » vs. adultes jeunes, « Y » ; type de stimulation : environnements unisensoriels musicaux, « MUS » vs. environnements unisensoriels olfactifs, « ODO » vs. environnements neutres, « NONE » ; niveau de difficulté : Lv.1, Lv.2, Lv.3) et 2 facteurs aléatoires (participant ; target). Les performances à la séance 1 ont été retirées des analyses.

3.6.1 PCI, PCT, Efficience

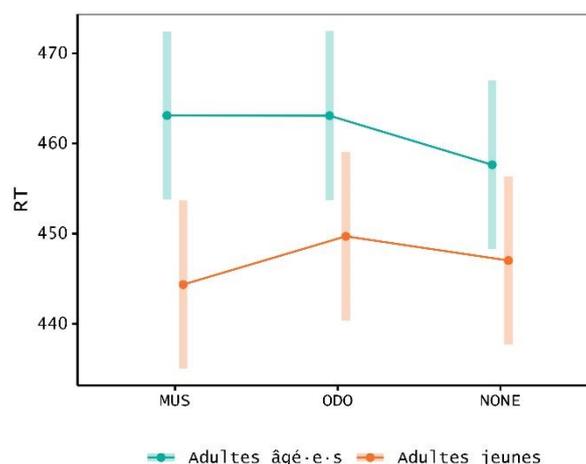
Aucun effet principal du type de stimulation n'est observé ($p > .181$). L'interaction entre groupe d'âge et type de stimulation, et l'interaction entre niveau de difficulté et type de stimulation ne sont pas significatives ($ps > .056$).

3.6.2 RT

Aucun effet principal du type de stimulation n'est observé ($p = .056$). Un effet d'interaction est observé entre groupe d'âge et type de stimulation, $F(2, 993.44) = 3.573$, $p = .028$ (voir Figure 10). Les analyses post-hoc révèlent que seul·e·s les participant·e·s du groupe d'âge O ont en moyenne des temps de réponse plus rapides aux conditions **NONE** comparativement aux conditions **MUS**, estimation = 5.461, erreur standard = 2.20, $t = 2.478$, $p = .036$, et **ODO**, estimation = -5.444, erreur standard = 2.31, $t = -2.356$, $p = .049$. L'interaction entre niveau de difficulté et type de stimulation n'est pas significative ($p = .354$).

Figure 10

Effet du Type de Stimulation sur les Performances en RT des Participant·e·s Selon le Groupe d'Âge



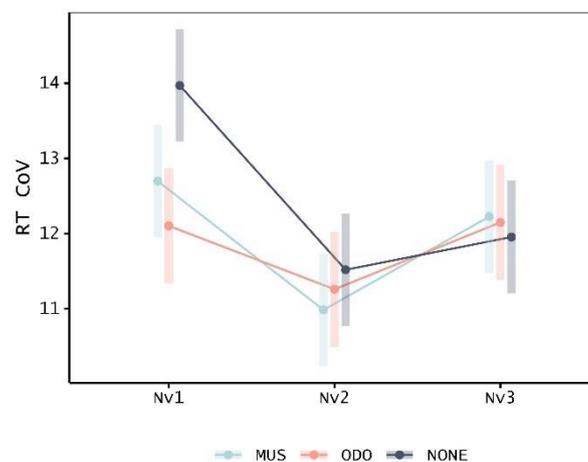
Note. Line charts, les points représentent les réponses des adultes âgé·e·s (en bleu) et jeunes (en orange). Les barres d'erreurs représentent l'indice de dispersion (erreur standard).

3.6.3 RTCoV

Un effet principal du type de stimulation est observé, $F(2, 666.32) = 3.384, p = .034$. Les analyses post-hoc révèlent de meilleures performances aux conditions **ODO** comparativement conditions **NONE**, estimation = .645, erreur standard = .27, $t = 2.375, p = .047$. Un effet d'interaction est observé entre niveau de difficulté et type de stimulations, $F(4, 993.29) = 3.491, p = .008$ (voir Figure 11). Les analyses post-hoc révèlent que les conditions environnementales **NONE** permettent, au Lv.1, de moins bonnes performances comparativement aux conditions environnementales **MUS**, estimation = -1.273, erreur standard = .43, $t = -2.937, p = .01$, **ODO**, estimation = 1.869, erreur standard = .45, $t = 4.188, p < .001$. L'interaction entre les variables groupe d'âge et type de stimulation n'est pas significative ($p > .3$).

Figure 11

Effet du Type de Stimulation sur les Performances en RTCoV des Participant-e-s Selon le Niveau de Difficulté



Note. Line charts, les points représentent les réponses moyennes des participant-e-s en conditions musicales (en vert), olfactives (en orange), et neutres (en gris). Les barres d'erreurs représentent l'indice de dispersion (erreur standard).

3.7 Effet de la personnalisation

Hypothèses : Les environnements personnalisés favorables influencent positivement les performances objectives des adultes jeunes et âgé·e·s comparativement aux environnements personnalisés défavorables et aux environnements imposés.

Pour chacune des 5 variables analysées (PCI, PCT, Efficience, RT, RTCoV), nous avons construit un LME contenant 4 effets fixes (groupe d'âge : adultes âgé·e·s, « O » vs. adultes jeunes, « Y » ; favorabilité : positive, « POS » vs. négative, « NEG » vs. incongruent, « INC » vs neutre, « NONE » ; environnement : environnements imposés, « I » ; environnements personnalisés, « P » ; niveau de difficulté : Lv.1, Lv.2, Lv.3) et 2 facteurs aléatoires (participant ; target). Les performances à la séance 1 ont été retirées des analyses. Pour ces analyses, l'effet de la favorabilité POS, NEG et INC par rapport à la condition NONE nous intéresse. Un gain a ainsi été obtenu en calculant la différence entre les conditions environnementales favorables, défavorables, incongruentes et les conditions environnementales neutres.

3.7.1 PCI, Efficience, RT

Aucun effet principal d'environnement n'est observé ($ps > .054$). L'interaction entre environnement et favorabilité, et l'interaction entre niveau de difficulté et environnement ne sont pas significatives ($ps > .147$).

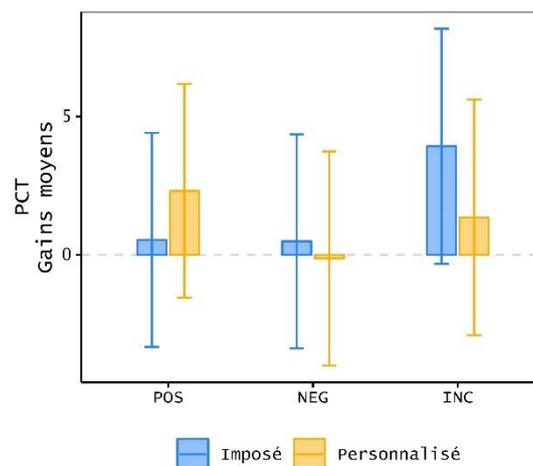
3.7.2 PCT

Aucun effet principal de l'environnement n'est observé ($p = .780$). Un effet d'interaction est cependant observé entre environnement et favorabilité, $F(2, 1160.50) = 3.035, p = .048$ (voir Figure 12). Les analyses montrent qu'en condition d'environnements sensoriels imposés, le

gain de performances est significativement meilleur en environnement sensoriel **INC** comparativement aux environnements sensoriels **NEG** et **POS**, respectivement, estimation = 3.436, erreur standard = 1.37, $t = 2.501$, $p = .033$, et, estimation = 3.383, erreur standard = 1.37, $t = 2.463$, $p = .037$. Aussi, les analyses post-hoc montrent qu'en condition d'environnements personnalisés, le gain de performances est significativement meilleur en environnement sensoriel **POS** comparativement à un environnement sensoriel **NEG**, estimation = -2.448, erreur standard = .97, $t = -2.526$, $p = .031$. Enfin, aucun effet de triple interaction entre environnement, groupe d'âge et favorabilité n'est significatif ($p > .988$).

Figure 12

Effet de la Personnalisation sur les Performances en RT des Participant-e-s Selon l'Environnement



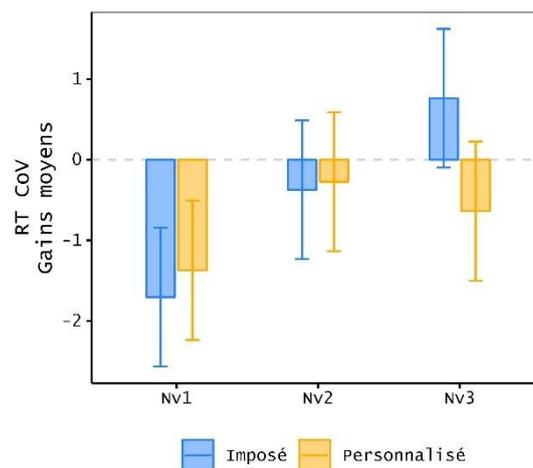
Note. Bar charts, les gains moyens des sous-groupes d'environnements sensoriels personnalisés sont représentés en bleu, et en jaune pour les sous-groupes d'environnements sensoriels imposés (en orange). Les barres d'erreurs représentent l'indice de dispersion (déviations standard).

3.7.3 RTCoV

Aucun effet principal de l'environnement n'est observé ($p = .495$). Un effet d'interaction est observé entre niveau de difficulté et environnement, $F(2, 1155.22) = 5.174$, $p = .006$ (voir Figure 13). Les analyses post-hoc révèlent que les gains de performances induits en conditions environnementales **P** sont plus importants au Lv.2 comparativement au Lv.1, estimation = -1.097, erreur standard = .42, $t = -2.641$, $p = .023$, les autres contrastes entre les gains ne sont pas significativement différents ($ps > .182$).

Figure 13

Effet de la Personnalisation sur les Performances en RTCoV des Participant-e-s Selon le Niveau de Difficulté



Note. Bar charts, les gains moyens des sous-groupes d'environnements sensoriels personnalisés sont représentés en bleu, et en jaune pour les sous-groupes d'environnements sensoriels imposés (en orange). Les barres d'erreurs représentent l'indice de dispersion (déviations standard).

À la différence des conditions environnementales **P**, les analyses post-hoc révèlent que les gains de performances induits en conditions environnementales **I** sont plus importants au

Lv.3 comparativement au Lv.2, estimation = -1.097, erreur standard = .42, $t = -2.641$, $p = .023$,
au Lv.3 comparativement au Lv.1, estimation = -1.097, erreur standard = .42, $t = -2.641$, $p =$
.023, et au Lv.2 comparativement au Lv.1, estimation = -1.097, erreur standard = .42, $t = -2.641$,
 $p = .023$

Discussion de l'étude POM

Cette étude pilote avait comme objectif d'améliorer la compréhension de l'influence des environnements sensoriels sur les ressentis de performances et les performances cognitives objectives (temps de réponses et performances exécutives) d'adultes jeunes et âgé·e·s.

Caractéristiques des échantillons testés

Les participant·e·s étaient réparti·e·s dans deux groupes d'âge, jeunes (18-35 ans) ou âgé·e·s (48- 65 ans), et dans deux sous-groupes d'environnements sensoriels, imposés ou personnalisés. Différentes caractéristiques démographiques ont été recueillies pour permettre la caractérisation des échantillons, telles que les habitudes musicales et olfactives pour se concentrer, la pratique d'un instrument de musique, ou encore certains traits de personnalité. Conformément à nos études précédentes (OHC, MHC et MOCC), ainsi qu'aux données de la littérature scientifique (Goltz & Sadakata, 2021 ; Kiss & Linnell, 2021), les adultes jeunes de l'étude POM avaient plus tendance à écouter de la musique pour se concentrer comparativement aux adultes âgé·e·s. L'étude de Meng *et al.* (2021) montre par ailleurs que les personnes ayant l'habitude d'écouter de la musique ont des temps de réponse plus rapides lors de la réalisation de tâches cognitives dans un environnement musical, comparativement aux personnes n'ayant pas l'habitude d'écouter de la musique. Ainsi, il est important de noter que les différences observées des performances à la PGNG entre les adultes jeunes et âgé·e·s pourraient en partie être liées à l'écoute fréquente de musiques dans le cadre d'activités cognitives. Autrement dit, cette écoute fréquente pourrait avoir avantagé les adultes jeunes de notre étude, particulièrement sur les mesures de temps de réponse. Il est intéressant de noter que sur l'ensemble des autres variables, les 2 groupes d'âge sont similaires.

Performances subjectives

Concernant les performances subjectives, une première phase de l'étude consistait à contrôler les éventuels effets de familiarisation et d'apprentissage induits par la répétition des séances. Les différences significatives observées entre les séances 1 et 2 permettaient de mettre en avant un effet de familiarisation à l'expérience alors que l'effet d'apprentissage devait davantage être mis en avant par l'obtention de différences significatives entre les séances 2 et 7. Ainsi, une comparaison des réponses aux questionnaires de ressentis des performances aux séances 1, 2 et 7 a été réalisée. Concernant les effets d'apprentissage, les résultats ont montré que, quel que soit leur âge, les participant·e·s exprimaient plus de ressentis de compétence et de contrôle à la séance 7 comparativement aux séances 1 et 2. Cependant, l'interaction met en avant que les adultes jeunes ont exprimé plus de ressentis de contrôle à la séance 7 comparativement à la séance 1, alors que les adultes âgé·e·s ont exprimé un ressenti de contrôle plus fort à la séance 7 comparativement aux deux premières séances. Il semble donc que la séance 1 de familiarisation a été bénéfique pour les adultes âgé·e·s, légitimant le choix méthodologique de cette séance 1 de familiarisation. De plus, leurs ressentis ayant encore évolué entre les séances 2 et 7, le contrebalancement entre les séances 3 à 6 est également légitimé.

Les résultats de l'étude POM montrent une influence de la favorabilité perçue des environnements sensoriels sur les ressentis de performances des participant·e·s. Globalement, les environnements sensoriels perçus comme favorables permettent une diminution de la fatigue ressentie comparativement aux environnements sensoriels incongruents et une diminution de la distraction sensorielle ressentie comparativement aux environnements sensoriels incongruents et défavorables. Toujours en lien avec l'effet principal de favorabilité observé, les environnements sensoriels favorables permettent un ressenti plus fort de concentration, de

motivation, de contrôle et de compétence comparativement aux environnements sensoriels incongruents et défavorables. Bien que ces différences permettent de mettre en avant l'effet positif d'environnements perçus comme favorables, il est important de noter que ces derniers ne diffèrent pas de conditions sensorielles dans lesquelles aucune stimulation sensorielle n'est diffusée. Cela rejoint les précédentes expériences mettant en avant un effet délétère de certains environnements sensoriels par rapport à des environnements sans diffusion sensorielle (Burkhard *et al.*, 2018 ; Cloutier *et al.*, 2020 ; Reaves *et al.*, 2017). L'effet de favorabilité est aussi dépendant de l'âge et de la personnalisation. Pour les adultes jeunes, le fait de personnaliser les environnements sensoriels permet d'améliorer les ressentis de performances en conditions sensorielles favorables (la distraction sensorielle est moins ressentie, et les sentiments de concentration, de motivation et de compétence augmentent) comparativement aux environnements sensoriels défavorables. De tels résultats ne sont pas retrouvés dans le cas d'environnements imposés où, comme en conditions d'environnements personnalisés, est seulement mis en évidence une différence entre des conditions neutres, incongruentes et défavorables. Cela peut signifier que la personnalisation permet d'améliorer les ressentis de performances des adultes jeunes en conditions favorables, ce qui permet de valider notre protocole expérimental et nos hypothèses sur l'effet de la personnalisation sur les ressentis de performances.

Cependant, cet effet de personnalisation n'est pas observé pour toutes les composantes des ressentis de performances chez les adultes âgé·e·s. Plus précisément, la personnalisation de l'environnement sensoriel permet une moins grande distractibilité sensorielle ressentie (favorables vs incongruents), mais lorsque l'environnement personnalisé est perçu comme défavorable, la motivation ressentie par les participant·e·s est diminuée (neutre vs défavorable). Bien qu'un environnement sensoriel imposé favorable ou défavorable semble être plus

distrayant pour les adultes âgé·e·s comparativement à un environnement sensoriel neutre, l'effet de personnalisation de l'environnement des adultes âgé·e·s ne permet pas d'obtenir les mêmes observations que celles réalisées auprès des adultes jeunes. Cette observation pourrait être soutenue par le modèle SAVI (Charles, 2010), qui propose que l'avancée en âge entraîne une perte de flexibilité physiologique impactant négativement la capacité de régulation des affects et des émotions. Ainsi, les environnements sensoriels imposés ou personnalisés pourraient augmenter la charge distractive à gérer, et ainsi faire ressentir davantage d'activation et d'instabilité physiologique pour les adultes âgé·e·s, ce qui détériorerait les effets de favorabilité perçue d'un environnement sensoriel pour la réalisation d'une tâche cognitive.

En résumé, notre hypothèse selon laquelle les environnements favorables influencent positivement les performances subjectives des adultes jeunes et âgé·e·s comparativement aux environnements défavorables est validée pour les ressentis de fatigue et de contrôle. Cependant, nous avons pu observer que seul·e·s les adultes jeunes en environnements sensoriels personnalisés bénéficient d'un effet positif d'une perception favorable des stimuli diffusés sur les ressentis de concentration, de distractibilité sensorielle, de motivation et de compétence. Après avoir investigué les effets de la favorabilité perçue des environnements sensoriels imposés ou personnalisés sur les performances subjectives des adultes jeunes et âgé·e·s, il est intéressant d'explorer la présence ou non de ces mêmes effets sur les performances objectives.

Performances objectives

Semblable aux performances subjectives, une première phase d'analyses consistait à contrôler les éventuels effets d'apprentissage induits par la répétition des séances. Les résultats montrent des effets d'apprentissage différents selon les variables. En effet, alors qu'il semble y avoir une absence d'effet d'apprentissage entre les séances 2 et 7 pour les variables PCI, des effets d'apprentissage sont observés pour les variables PCT, Efficience et RT. À nouveau, ces

résultats renforcent le choix méthodologique d'un contrebalancement effectué entre les séances 3, 4, 5 et 6.

L'effet de niveau de difficulté avait été contrôlé à la séance 2. Des différences significatives entre les 3 niveaux de difficulté étaient attendues pour les 5 variables explorées par la PGNG. Contrairement à nos hypothèses et à ce que nous avons observés dans notre étude PGNG sur la validation des 6 formes alternatives de la tâche exécutive du même nom, les niveaux 1 et 2 ne présentent pas de différences significatives aux variables PCT et Efficience, une observation qui est renouvelée pour les niveaux 1, 2 et 3 de la variable RTCoV.

Concernant l'effet de l'âge, aucune différence de performances entre les adultes jeunes et âgé·e·s n'a été observée sur les variables PCI, PCT et Efficience, toutes séances confondues. Nous nous attendions pourtant à observer de meilleures performances exécutives réalisées par les adultes jeunes comparativement aux adultes âgé·e·s, et cette hypothèse était en lien avec le déclin des capacités en mémoire de travail et d'inhibition observées dès 30 et 35 ans (Ferguson *et al.*, 2021). Néanmoins, ces bonnes performances pourraient être liées à une stratégie des personnes âgées. En effet, les adultes âgé·e·s prendraient plus de temps pour réaliser une tâche donnée afin de préserver la réussite à la tâche (Salthouse *et al.*, 2003). Cette hypothèse est étayée par la différence observée sur les variables RT et RTCoV suggérant une vitesse de traitement ralentie pour les adultes âgé·e·s comparativement aux jeunes adultes (Filippi *et al.*, 2020).

Au-delà du niveau de difficulté de la tâche et de l'âge, l'influence de 5 facteurs de l'environnement sensoriel sur les performances objectives a été investiguée dans cette étude : la favorabilité perçue (favorable vs défavorable vs neutre vs incongruent), le nombre de stimuli diffusés (0 stimulus vs 1 stimulus vs 2 stimuli), la congruence multisensorielle (congruent vs

incongruent), le type de stimulus (musique vs odeur), et la personnalisation (imposé vs personnalisé).

Semblable à l'effet de l'âge, l'effet de la **favorabilité** perçue de l'environnement sensoriel est observé sur les variables RT et RTCoV. Aucun effet n'est observé sur les mesures de précisions PCI, PCT et Efficience. Plus précisément, les résultats mettent en avant une influence négative des environnements favorables et défavorables sur la variable RT, avec des temps moyens plus lents lorsque les participant·e·s sont immergé·e·s dans des environnements sensoriels favorables et défavorables, comparativement à des environnements neutres (sans diffusion de musiques ou d'odeurs). Il pourrait s'agir non pas d'un effet de favorabilité, mais d'un effet distracteur de la présence d'odeurs ou de musiques. Les modèles de l'ISE ou de la LT semblent donc renforcer ce résultat. Pourtant, dans le cas de la mesure RTCoV, l'influence positive d'environnements défavorables et favorables comparativement à neutre se retrouve au niveau 1 de la PGNG, avec une moins grande variabilité des temps de réponses, et ce, en particulier pour les adultes âgé·e·s, en condition défavorable comparativement aux conditions favorables et neutres. Ainsi, notre hypothèse prédisant une influence positive des environnements favorables sur les performances objectives des adultes jeunes et âgé·e·s comparativement aux environnements défavorables et aux environnements incongruents ne peut pas être entièrement validée. L'articulation des résultats obtenus des effets de la favorabilité perçue d'un environnement sensoriel sur les performances subjectives et objectives permet de faire le constat d'un écart entre les ressentis des performances et les performances réelles des participant·e·s. Cette interprétation est notamment soutenue par une recherche récente qui a mis en évidence que malgré le lien corrélationnel positif entre l'agrément perçue d'une musique et la susceptibilité de juger cette dernière comme améliorant les performances cognitives, les performances objectives des participant·e·s sont impactées par la présence d'une

musique que cette dernière soit appréciée ou non (Bell *et al.*, 2023b). De façon similaire, il semble que la favorabilité ressentie des environnements sensoriels ait un effet positif sur les ressentis de performances sans que ce même effet ne soit observable sur les performances objectives.

Un effet du **nombre de stimuli** diffusés a été observé seulement sur les performances en Efficience et en RT, avec les environnements unisensoriels musicaux qui permettraient de meilleures performances en Efficience comparativement aux environnements multisensoriels. Aussi, pour les RT, les environnements multisensoriels induiraient un ralentissement des temps de réponse comparativement aux environnements unisensoriels musicaux et aux environnements sensoriels neutres. De plus, l'effet d'interaction entre le type de stimuli et le niveau de difficulté met en évidence que la variabilité des temps de réponses (RTCoV) semble plus grande en l'absence de stimuli au niveau 1 de la PGNG, comparativement aux conditions impliquant la diffusion conjointe ou unique d'odeurs et de musiques. Notre hypothèse selon laquelle les environnements multisensoriels permettent de meilleures performances objectives pour les adultes jeunes et âgé·e·s comparativement aux environnements unisensoriels n'est donc pas validée. Ainsi, l'absence de gain multisensoriel pour la réalisation de tâches cognitives répond à notre interrogation concernant la pertinence des correspondances affectives (dans notre cas, une congruence de favorabilité entre les stimuli musicaux et olfactifs), plutôt que structurelles dans le cadre de notre étude.

Concernant la variable de **congruence de l'environnement multisensoriel**, alors que nous nous attendions à de meilleures performances objectives dans des environnements multisensoriels congruents favorables comparativement à tous les autres types d'environnements multisensoriels (incongruents, mais aussi congruents défavorables), seules de meilleures performances en environnements multisensoriels incongruents comparativement

aux environnements multisensoriels défavorables ont été observés pour les variables Efficience, PCT, ainsi que pour RTCoV (effet observé uniquement pour les adultes âgé·e·s). Pourtant, les analyses effectuées sur les performances subjectives ont mis en évidence que les environnements multisensoriels incongruents impactent négativement tous les ressentis de performances, avec globalement plus de fatigue et moins de motivation ressenties en environnements incongruents comparativement aux environnements favorables ou neutres (pas d'effet pour les ressentis de concentration, de distraction sensorielle et de contrôle). Berthold Losleben (2018) a mis en évidence que les ressentis de performances pouvaient être négativement impactés lors de la diffusion de stimuli olfactifs désagréables comparativement à la diffusion de stimuli musicaux désagréables. Selon les auteur·e·s, cela suggèrerait que les odeurs impacteraient davantage l'état affectif et émotionnel comparativement aux musiques. En conséquence, lorsque les participant·e·s sont immergé·e·s dans des environnements multisensoriels incongruents impliquant la diffusion d'une odeur défavorable et d'une musique favorable, l'influence négative de l'odeur pourrait rendre cette condition incongruente d'autant plus négative, comparativement aux environnements multisensoriels incongruents impliquant la diffusion d'une odeur favorable et d'une musique défavorable. Ainsi, les conditions incongruentes de l'étude POM pourraient ne pas être équivalentes en termes de favorabilités perçues. Alors que les environnements multisensoriels défavorables n'impliqueraient pas de différence de favorabilité perçue entre les stimuli olfactifs et musicaux, une des deux combinaisons d'environnements multisensoriels incongruents (c'est-à-dire, la combinaison musique défavorable et odeur favorable) pourrait permettre de meilleures performances objectives et subjectives que l'autre condition (musique favorable et odeur défavorable). Une prochaine étape serait donc de tester l'équivalence de la favorabilité perçue des environnements multisensoriels incongruents composés dans l'étude POM pour s'assurer de leur équivalence sur des caractéristiques affectives.

Concernant l'effet du **type de stimulation** sur les performances objectives, les performances en RTCoV semblent être positivement influencées par la diffusion d'odeurs, toujours en comparaison aux environnements neutres. Mais lorsque nous nous intéressons à l'influence du niveau de difficulté, la diffusion d'une odeur et d'une musique semble diminuer la variabilité des temps de réponses seulement au niveau 1, et ceci comparativement aux environnements neutres. Uniquement pour le niveau 1, ces observations confortent les résultats d'études antérieures dans lesquelles étaient mis en avant de meilleurs temps de réponse et de meilleures performances cognitives en conditions musicales (Jamshidzad *et al.*, 2020 ; Taheri *et al.*, 2022). Dans l'ensemble, les résultats suggèrent donc que les effets des environnements sont observables au niveau 1 de la PGNG, niveau dans lequel l'inhibition *statique* induirait de potentielles errances mentales, à la différence des niveaux 2 et 3 dans lesquels l'inhibition *contextuelle* demanderait plus d'effort cognitif. Ces observations sont confortées par le modèle de la DCT (Baron, 1986 ; Gonzalez & Aiello, 2019).

Enfin, l'effet de la **personnalisation de l'environnement sensoriel** sur les performances objectives était étudié dans l'étude POM. Nous avons comme hypothèse que les environnements personnalisés favorables influencent positivement les performances objectives des adultes jeunes et âgé·e·s comparativement aux environnements personnalisés défavorables et aux environnements imposés. Cette hypothèse n'est que partiellement validée, puisque seulement un effet d'interaction entre la personnalisation et la favorabilité perçue de l'environnement sensoriel a été observé. Plus précisément, les résultats suggèrent que seul·e·s les participant·e·s immergé·e·s dans des environnements sensoriels personnalisés avaient de meilleures performances en PCT lorsque les environnements étaient perçus comme favorables, comparativement aux environnements perçus comme défavorables. À l'inverse, les

participant·e·s du groupe imposé présentaient de meilleures performances en environnements sensoriels incongruents comparativement à favorables et défavorables. Ce résultat peut être lié aux observations faites sur l'effet de la personnalisation d'environnements personnalisés sur les ressentis de performances. En effet, il semblerait que l'utilisation de stimuli personnalisés permettrait d'une part d'améliorer les ressentis de performances, une observation également faite par Kiss et Linnell (2021), mais aussi d'améliorer les performances cognitives à une tâche expérimentale, comme avaient pu le montrer Mori *et al.* (2014). De fait, alors que le seul effet de la favorabilité n'est pas équivalent sur les ressentis de performances et les performances objectives, l'interaction entre la personnalisation et la favorabilité perçue des stimuli permet de faire converger l'effet bénéfique de stimulations sensorielles sur les performances à la fois réelles et supposées des participant·e·s. De plus, il semblerait que les environnements personnalisés limitent le surplus de variabilité des temps de réponses au niveau 3, comparativement aux environnements imposés dans lesquels la variabilité des temps de réponses croît entre les niveaux 1, 2 et 3. Cela pourrait être dû à un éventuel effet bénéfique des stimulations personnalisées sur le stress ressenti des participant·e·s au niveau le plus complexe de la PGNG. De futures recherches permettront d'investiguer l'effet potentiellement relaxant des stimulations sensorielles personnalisées sur la diminution de variabilités de réponses lors de la réalisation de tâches cognitives difficiles.

En résumé, la favorabilité perçue, le type et le nombre de stimulation, la congruence affective (la congruence de favorabilité entre les stimuli sensoriels) et la personnalisation doivent être pris en compte dans de futures recherches investiguant les effets des environnements uni et multisensoriels sur les performances subjectives et objectives d'adultes d'âges différents. L'étude POM est la première étude, à notre connaissance, mettant en évidence

l'ensemble de ces facteurs auprès d'une même cohorte d'adultes jeunes et âgé·e·s. Comparativement aux modèles préexistants, les résultats soutiennent les modèles de la CCH et de la DCT (voir partie **Discussion générale**).

Néanmoins, ce protocole devra être reconduit avec certaines spécificités. Premièrement, le *design* de la tâche de PGNG implique que de nombreuses lettres soient flashées à l'écran, créant ainsi une fréquence d'apparition. Or, des informations sensorielles auditives et visuelles désynchronisées et provenant de différentes sources peuvent impacter négativement la tâche cognitive à réaliser lorsque celle-ci présente un haut niveau de complexité. Comme Del Gatto *et al.* (2023) ont pu le montrer dans leur étude, la complexité de la tâche était qualifiée de haute lorsque les stimuli visuels étaient présentés de façon irrégulière et rapide, il se peut donc que la rapidité et la fréquence à laquelle les lettres de la PGNG apparaissaient soient non-synchrones avec le rythme des musiques diffusées dans les conditions multisensorielles et unisensorielles musicales. De fait, la difficulté de la tâche à réaliser dans notre protocole serait potentialisée par l'asynchronie entre la présentation des stimuli visuels et auditifs.

De même, le protocole de l'étude POM permet de s'assurer que les participant·e·s percevaient l'odorant placé sous leur nez avant chaque condition induisant une stimulation olfactive. Cependant, un stress aigu induit par la réalisation de tâches cognitives rendues impossibles à réaliser peut altérer la perception d'odeurs agréables (Ai *et al.*, 2023). De fait, pour s'assurer que le potentiel stress induit par la réalisation de la tâche de la PGNG n'interfère pas avec la perception des odeurs diffusées, il serait nécessaire de réévaluer d'une part le stress engendré chez les participant·e·s, et d'autre part la perception des participant·e·s de l'odeur diffusée en fin de séance expérimentale lors de la réalisation de la tâche, après la réalisation du dernier niveau de chaque PGNG. En plus d'ajouter un contrôle de la perception olfactive en fin de tâche exécutive, l'utilisation de mesures physiologiques de l'activation permettrait d'obtenir

des mesures complémentaires objectives en plus des mesures comportementales afin de caractériser précisément ce niveau de stress des participant·e·s.

De plus, la légitimité des congruences multisensorielles créées dans cette étude n'a pas été évaluée par les participant·e·s. En effet, les congruences multisensorielles, que nous pourrions appeler « correspondances », sont de type affectives car les combinaisons ont été créées en suivant les indices d'agréabilité, de favorabilité, d'intensité et de familiarité perçue de chaque stimulus. Néanmoins, la diffusion conjointe des stimuli (créant ainsi des environnements multisensoriels) n'a pas été évaluée par les participant·e·s, ce qui ne permet pas de s'assurer de la perception favorable ou défavorable de la combinaison des stimuli sensoriels utilisés. Autrement dit, de futures recherches pourraient s'assurer que chaque condition multisensorielle congruente ou incongruente soit évaluée par les participant·e·s comme étant favorable ou défavorable à la concentration, comme nous l'avons fait pour chaque musique et odeur séparément. Enfin, la dimension émotionnelle n'a pas été investiguée dans cette étude, bien que chaque stimulus ait été caractérisé via les échelles de la GEMS et de la GEOS (Porcherot *et al.*, 2010 ; Zentner *et al.*, 2008). De futures recherches pourront être menées pour permettre d'étudier l'effet de correspondances émotionnelles entre les musiques et les odeurs utilisées pour soutenir différentes performances cognitives et comportementales.

Pour conclure, sur la base des résultats obtenus par la réalisation de l'étude POM, l'effet de la personnalisation d'environnements sensoriels perçus comme favorables pourrait permettre d'améliorer les ressentis de performances et les performances cognitives des adultes. Dans le cadre du développement d'environnements sensoriels bénéfiques aux capacités cognitives, les résultats de l'étude POM préconisent donc l'utilisation de stimulations sensorielles personnalisées et perçues comme favorables pour aider à la réalisation de tâches attentionnelles et exécutives, et contribuer à un ressenti positif durant la réalisation de la tâche à effectuer.

Discussion générale

Ce travail de thèse avait comme objectif principal d'éclaircir la compréhension des interactions complexes qui lient l'humain et son environnement multisensoriel. Plus précisément, la façon dont les ressentis de performances et les performances exécutives des adultes jeunes et âgé·e·s sont influencés par l'exposition à des environnements uni et multisensoriels, favorables et défavorables, personnalisés et imposés. Ainsi, plusieurs objectifs ont été ciblés, et 5 études ont été développées et réalisées pour tenter d'apporter certaines réponses à nos hypothèses.

La première étude présentée dans ce travail de recherche, l'étude OHC, a permis d'apporter de nouvelles connaissances sur les habitudes olfactives des adultes d'âges différents, mettant en avant une diffusion quotidienne d'odorants plus fréquente des adultes âgé·e·s comparativement aux adultes jeunes, ou encore l'utilisation d'odeurs plus réconfortantes par les adultes jeunes pour se concentrer. Semblable à l'étude OHC, l'étude MHC avait comme objectif d'apporter de nouvelles observations concernant les habitudes musicales des adultes jeunes et âgé·e·s dans le cadre de la concentration. Là encore, des différences sont apparues entre les groupes d'âge, avec notamment une fréquence d'écoute musicale plus importante pour les adultes jeunes comparativement aux adultes âgé·e·s, une diffusion de musiques par enceintes ou radio préférée par les adultes âgé·e·s. Ces deux études ont en partie orienté les choix méthodologiques de la troisième étude de ce travail de thèse, l'étude MOCC, en particulier sur le matériel de diffusion musicale, et la sélection de musiques et d'odorants. Cette étude MOCC a permis d'identifier les facteurs contribuant à caractériser la favorabilité à se concentrer de musiques et d'odeurs sur les caractéristiques affectives d'agrément, d'intensité et de familiarité. Des listes musicales et olfactives favorables ou défavorables pour se

concentrer ont ainsi pu être créées et utilisées dans la 5^{ème} et dernière étude de cette thèse. La quatrième étude était dédiée au développement de formes alternatives de la tâche exécutive de la PGNG. Les résultats de l'étude PGNG ont ainsi permis l'obtention de 6 formes alternatives. Ces 6 formes ont été utilisées dans la dernière étude de cette thèse. Cette dernière étude, l'étude POM, avait comme objectif principal l'identification des variables environnementales influençant les performances subjectives et objectives d'adultes jeunes et âgé·e·s. Grâce à cette étude, les variables influençant positivement ou négativement les ressentis de performances et les performances objectives d'adultes jeunes et âgé·e·s ont pu être identifiées.

Les discussions des différentes études étant présentes dans ce document, cette discussion générale aborde davantage la question des apports théoriques de cette thèse. Une proposition d'un modèle théorique inspiré de modèles cognitifs avait été formulée à la fin du cadre théorique (voir partie *Proposition d'un modèle théorique*). Ce modèle tentait de représenter les influences potentielles des stimulations olfacto-auditives sur les performances cognitives d'adultes jeunes et âgé·e·s en se basant sur les connaissances actuelles. Pour rappel, le modèle proposé dans cette thèse s'inspire des modèles de la CCH (Kahneman, 1973), de la LT (Lavie, 2005 ; 2010), de la DCT (Baron, 1986 ; Gonzalez et Aiello, 2019) et de la SAVI (Charles, 2010). Les recherches empiriques menées au cours de cette thèse permettent d'apporter des modifications ainsi qu'un nouvel éclairage sur ses composantes (voir Figure 9).

1. Activités et tâches disponibles – Le cas de la PGNG

Dans ce modèle dont la structuration est semblable au modèle de la CCH, nous retrouvons deux modules d'activités disponibles et de tâches à réaliser qui, dans le cas de ce travail de thèse, sont les niveaux 1, 2 et 3 de la PGNG. Leur réalisation est dépendante d'un *input*, qui est la capacité disponible. Les niveaux de la PGNG seraient donc porteurs d'une

charge cognitive, ainsi que d'une charge perceptive selon le modèle de la LT. Au regard de l'article de validation de la PGNG (Votruba & Langenecker, 2013) et de l'étude PGNG menée durant cette thèse, nous pouvons proposer que :

- Le niveau 1 (Lv.1) est porteur d'une charge perceptive modérée (225 stimuli visuels flashés pendant 600 msec et à 0 msec d'intervalle) ainsi que d'une charge cognitive faible (3 lettres cibles à retenir, inhibition *statique*).
- Le niveau 2 (Lv.2) est porteur d'une charge perceptive élevée (320 stimuli visuels flashés à la même durée et aux mêmes intervalles que le Lv.1) et d'une charge cognitive modérée (2 lettres cibles à retenir, inhibition *contextuelle*, règle de non-répétition).
- Le niveau 3 (Lv.3) serait porteur d'une charge perceptive élevée (328 stimuli visuels flashés à la même durée et aux mêmes intervalles que le Lv.1) et d'une charge cognitive élevée (3 lettres cibles à retenir, inhibition *contextuelle*, règle de non-répétition).

Pourtant, alors que nous pouvions nous attendre à observer une difficulté croissante en fonction des niveaux (Lv.1 < Lv.2 < Lv.3), les performances des participant·e·s de l'étude PGNG et celles des participant·e·s de l'étude POM à la séance 2 suggèrent un pattern différent de complexité (Lv. 2 < Lv.1 < Lv.3).

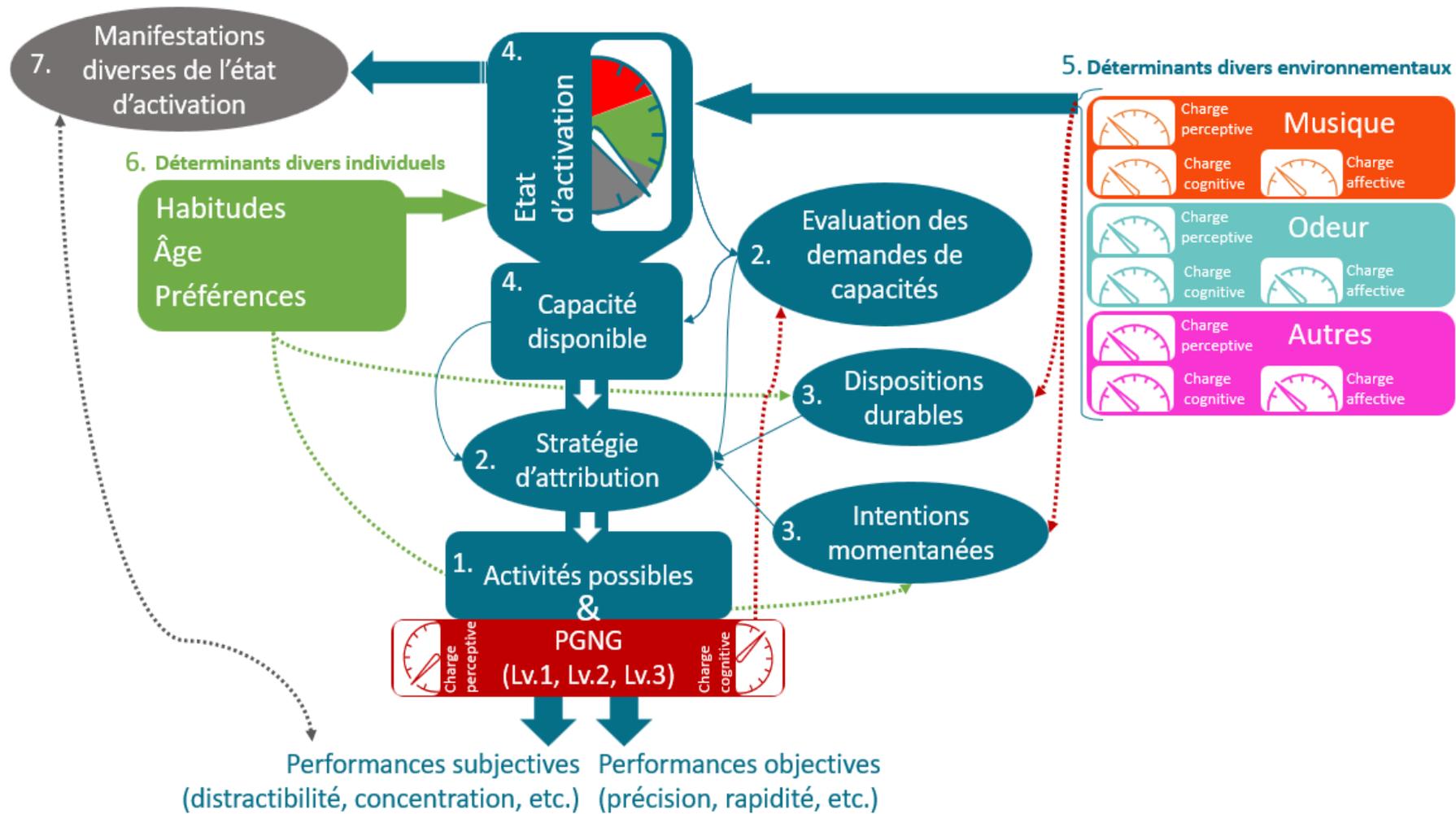


Figure 9 : Illustration du modèle modifié de l'influence des environnements sensoriels sur les performances cognitives.

Comme proposé dans la discussion de l'étude PGNG, il est possible qu'une stratégie de rétention de l'information en mémoire de travail permette de réduire la charge cognitive du niveau 2. En effet, seulement 2 lettres sont à retenir (car la règle de non-répétition nécessite de ne retenir qu'une seule lettre en mémoire de travail) et d'alterner l'une et l'autre lettre cible jusqu'à la fin du niveau à chaque bonne réponse délivrée. Ainsi, la charge cognitive pourrait être moins imposante comparativement au niveau 1. Sur la base de nos résultats, il est donc proposé ici que, pour le niveau 2, la charge cognitive soit faible plutôt que modérée :

- Le niveau 1 (Lv.1) soit porteur d'une charge perceptive modérée (225 stimuli visuels flashés pendant 600 msec et à 0 msec d'intervalle) ainsi que d'une charge cognitive faible (3 lettres cibles à retenir, inhibition *statique*).
- Le niveau 2 (Lv.2) soit porteur d'une charge perceptive élevée (320 stimuli visuels flashés à la même durée et aux mêmes intervalles que le Lv.1) et d'une **charge cognitive faible** (2 lettres cibles à retenir, inhibition *contextuelle*, règle de non-répétition).
- Le niveau 3 (Lv.3) soit porteur d'une charge perceptive élevée (328 stimuli visuels flashés à la même durée et aux mêmes intervalles que le Lv.1) et d'une charge cognitive élevée (3 lettres cibles à retenir, inhibition *contextuelle*, règle de non-répétition).

Le modèle de la LT propose qu'une tâche porteuse d'une haute charge perceptive saturerait le stock de capacités disponibles, et qu'aucun élément extérieur à la tâche en cours ayant une charge équivalente ne puisse être cognitivement traité. Ainsi, la réalisation des niveaux 2 et 3 de la PGNG ne pourrait être perturbée par des stimulations sensorielles non pertinentes à la tâche, ce qui est observé dans l'étude POM.

2. Evaluation des demandes de capacité et stratégie d'attribution – Les niveaux 2 et 3 de la PGNG favorisés

Pour rappel, selon le modèle de la CCH, le module d'évaluation des demandes de capacité est un système superviseur qui évalue la capacité requise pour la réalisation de l'activité ou de la tâche (ici, les niveaux de la PGNG). Le module d'évaluation transmet son estimation de capacités nécessaires au module de stratégie d'attribution. Ce module gère le stock de capacité disponible et sa répartition. Selon la CCH, le système de stratégie d'attribution favorise les activités perceptives qui demandent une grande capacité disponible au détriment d'activités perceptives moins exigeantes. Dans le cas des 3 niveaux de la PGNG, le système de stratégie favorisera donc l'attribution de capacités disponibles aux niveaux 2 et 3. Néanmoins, le bon fonctionnement de ces deux modules dépend de l'état d'activation, ainsi que des dispositions durables et des intentions momentanées. Nous avons tenté de faire varier ces paramètres en proposant des tâches de différents niveaux à des adultes d'âges différents.

3. Dispositions durables et intentions momentanées - Influences de déterminants divers individuels

Les dispositions durables sont des phénomènes d'attention non-volontaire qui permettent de réaliser un effort cognitif transitoire, à la différence des intentions momentanées qui permettent une attention volontaire et active. Selon le modèle de la CCH, les dispositions durables et les intentions momentanées sont en interaction constante, d'une part avec les déterminants environnementaux (tels que des distracteurs) qui renseignent autant de stimuli pertinents que non-pertinents pour la réalisation de la tâche en cours (une relation qui avait été ajoutée dans la première version de notre modèle théorique), et d'autre part avec des déterminants individuels, qui renseignent l'état d'activation de l'individu et module les phénomènes d'attention selon des facteurs personnels (voir sous-partie *Déterminants divers*

individuels – Importance des caractéristiques personnelles). Le fonctionnement de ces deux modules attentionnels est donc variable selon des déterminants internes et externes à l'individu, qui influencent, de fait, les stratégies d'attribution des capacités.

4. Etat d'activation et capacité disponibles – Effets des facteurs environnementaux

La capacité disponible est dépendante de l'état d'activation de la personne et ne peut être modulée volontairement. Tout comme les activités et tâches en cours, les déterminants divers environnementaux modulent l'état d'activation. Nouvellement ajoutés sur le modèle présenté dans cette discussion, les déterminants individuels influencent eux aussi l'état d'activation. En zone grise de la jauge, l'état d'activation est bas, les déterminants environnementaux et individuels ne sont pas bloqués. Dans un tel état d'activation, les errances mentales induites par la fatigue ou par la simplicité de la tâche peuvent entraver la réalisation de la PGNG, ce qui pourrait être le cas du niveau 1 en l'absence de stimulation sensorielle, du fait de sa charge perceptive modérée et de sa charge cognitive faible. À l'inverse, lorsque l'état d'activation est trop haut (zone rouge de la jauge), l'inhibition de déterminants environnementaux et individuels potentiellement pertinents ne sont pas traités par la personne. Enfin, comme nous avons pu le voir dans la première version du modèle, un état modérément haut (zone verte de la jauge) permet l'inhibition des distracteurs et la prise en compte des informations pertinentes pour réaliser la tâche de la PGNG. Etayant cette hypothèse, les études MHC, OHC, MOCC, ainsi que l'étude de Scarratt *et al.* (2023) ont mis en évidence que les musiques considérées comme favorables pour se concentrer sont globalement perçues comme des musiques plaisantes et relaxantes, n'induisant pas d'état d'activation trop intenses.

Bien qu'aucune mesure physiologique ne soit utilisée dans l'étude POM, le questionnaire de Kiss et Linnell (2021) a permis d'explorer la variabilité de l'état d'activation par le biais des ressentis de fatigue, de distraction sensorielle et de concentration des

participant·e·s. Les personnes exprimaient être moins concentrées, plus fatiguées et plus distraites lorsque les tâches de PGNG étaient réalisées dans des environnements sensoriels incongruents et/ou défavorables : comparativement aux conditions sensorielles favorables, les ressentis de fatigue étaient plus forts et la motivation plus basse durant les conditions incongruentes, et ces ressentis étaient aussi retrouvés en conditions défavorables avec, en plus, une distraction sensorielle augmentée et une baisse des ressentis de motivation, de concentration, de compétence et de contrôle.

5. Déterminants divers environnementaux – Personnalisation des stimulations sensorielles

Le modèle théorique proposé dans cette thèse postule que les déterminants environnementaux regroupent, dans le cadre de nos expériences menées, les stimulations sensorielles. Selon qu'elles soient perçues comme favorables ou défavorables, qu'elles soient uni ou multisensorielles, olfactives ou musicales, congruentes ou incongruentes, personnalisées ou imposées, les stimulations sensorielles diffusées n'influencent pas de la même façon les performances subjectives et objectives des participant·e·s. Ainsi, chaque odeur et chaque musique aurait d'une part des charges perceptives et cognitives dépendantes de caractéristiques qui leurs seraient propres (mélanges de molécules, intensité de l'odorant, présence de paroles, complexité de la mélodie, etc.), et d'autre part une charge affective dépendante des déterminants individuels de chaque personne percevant les stimulations. Ce postulat est soutenu par l'effet de la personnalisation des stimuli sensoriels, avec des effets observés majoritairement sur les ressentis de performances et les performances objectives des adultes jeunes. L'effet de personnalisation d'environnements favorables augmente les ressentis de motivation, de concentration, de compétence et baisse la distractibilité perçue. L'effet de personnalisation d'environnements sensoriels est limité sur les ressentis de performances des adultes âgé·e·s,

avec moins de distraction sensorielle ressentie. Sans que cet effet soit différent entre les groupes d'âge, un environnement favorable personnalisé permet de meilleures performances en précision ainsi qu'une baisse de la variabilité des temps de réponse pour la réalisation d'une tâche difficile (Lv.3). Ainsi, il serait possible que l'influence des environnements personnalisés permette de réduire le stress ressenti durant des tâches complexes et, ainsi, d'aider au maintien d'un état d'activation modérément haut permettant la réalisation de la tâche.

Bien que de nombreux concepts de la LT ont été empruntés pour l'élaboration de ce modèle théorique, nos résultats obtenus dans l'étude POM ne soutiennent pas l'action uniquement délétère de la diffusion de stimuli sensoriels, et par conséquent non pertinents et en concurrence avec la tâche à réaliser, sur les capacités cognitives. En effet, il est observé dans nos résultats que, par exemple, la diffusion de stimuli favorables et personnalisés permettait d'augmenter la précision des réponses des participant·e·s et de réduire la variabilité des temps de réponses lors d'une tâche complexe. De plus, la LT propose un effet bénéfique du vieillissement sur les performances en attention sélective et l'inhibition de distracteurs lors de la réalisation de tâches à faible charge perceptive, pouvant être équivalentes au niveau 1 de la PGNG. Cette proposition n'est pas confortée dans l'étude POM puisqu'aucune interaction entre l'âge et le niveau de difficulté n'a été observée.

En conséquence, notre modèle théorique se rapproche davantage de la proposition faite par Gonzalez et Aiello (2019) avec le modèle de la DCT, dans laquelle la complexité de la tâche est un facteur important à prendre en compte. Dans le cas d'une tâche simple, qui serait ici le niveau 1 de la tâche de la PGNG, la présence d'une stimulation sensorielle semble permettre d'améliorer la variabilité des temps de réponses des participant·e·s. Selon la DCT, un léger conflit attentionnel, maintenant ainsi l'état d'activation modérément haut. Ainsi, la réalisation du niveau 1 en conditions unisensorielles (c'est-à-dire, qui impliquent la diffusion d'odeur ou de musique), permet d'ajuster le niveau d'activation alors trop bas en condition neutre. Un effet

qui n'est pas retrouvé pour les niveaux 2 et 3 de la PGNG, pour lesquels les charges perceptives, cognitives et affectives étaient trop demandeuses en capacités disponibles déjà dédiées à la tâche à réaliser. Il est possible que la charge perceptive haute des niveaux 2 et 3 de la PGNG empêche un détournement de l'attention des participant·e·s vers les stimulations sensorielles diffusées (dépendant de la charge affective perçue de ces dernières).

De futures recherches pourraient investiguer l'influence de la charge émotionnelle des stimuli sensoriels sur les performances subjectives et objectives des personnes d'âges différents. Comme nous avons pu l'observer dans l'étude MOCC, la perception de la favorabilité pour se concentrer de stimuli musicaux et olfactifs est fortement corrélée à certaines caractéristiques émotionnelles propres aux odeurs et aux musiques, et est aussi dépendante de l'âge des personnes (Vieillard *et al.*, 2012). Pour tester ce modèle théorique et aller plus loin, de prochaines recherches pourraient analyser les erreurs commises et les temps de réaction plus lents au sein même des différents niveaux de la PGNG de façon à comprendre de quelles façons les environnements sensoriels, en fonction de divers facteurs, influencent la variation de l'état d'activation d'adultes d'âges différents.

6. Déterminants divers individuels – Importance des caractéristiques personnelles

Une modification importante du modèle consiste en l'ajout d'une dimension de déterminants divers individuels qui regroupe les habitudes quotidiennes, l'âge, ou encore les préférences sensorielles. Comme ont pu le constater Goltz et Sadakata (2021), une plus grande fréquence de l'écoute musicale lors d'activités cognitives est une habitude retrouvée significativement plus souvent chez les adultes jeunes de notre époque actuelle, comparativement aux adultes âgé·e·s. Par exemple, comme nous avons pu le voir dans les études OHC et MHC, l'âge fait varier les habitudes musicales et olfactives, ce qui pourrait

moduler l'état d'activation et les modules de dispositions durables et d'intentions momentanées lors de la réalisation d'une tâche cognitive avec la présence de musiques et/ou d'odeurs.

Par ailleurs, les performances subjectives des adultes jeunes et âgé·e·s peuvent être différemment influencées par la diffusion d'odeurs et de musiques. Dans l'étude POM, alors que la distractibilité était plus forte pour les adultes jeunes en conditions sensorielles imposées et favorables comparativement aux conditions neutres, les adultes âgé·e·s ressentaient davantage de distractibilité en conditions sensorielles imposées et défavorables, toujours comparativement aux conditions neutres. Pour autant, il est observé une certaine homogénéisation des ressentis de distraction et de motivation entre les adultes jeunes et âgé·e·s dans les conditions sensorielles personnalisées. En effet, moins de distractibilité était ressentie en conditions favorables comparativement aux conditions incongruentes pour les âgé·e·s, et défavorables pour les jeunes. De même, la personnalisation de stimulations défavorables impactait de façon similaire les adultes jeunes et âgé·e·s, avec une plus faible motivation ressentie lors de la diffusion de stimulations défavorables comparativement à l'absence de stimulation. Ces observations permettent de moduler l'importance du modèle SAVI qui propose que les déterminants environnementaux influencent négativement l'état d'activation des adultes âgés, état d'activation qui resterait trop élevé de façon prolongée. En conséquence, l'ajout d'une sortie dédiées aux performances subjectives permet de marquer la différence entre les ressentis de performances et les performances objectives, qui pourraient être différemment affectés par les caractéristiques individuelles (déterminants individuels), de la tâche à réaliser (activités possibles et PGNG) et des stimuli (déterminants environnementaux).

7. Manifestations diverses de l'état d'activation – Effet sur les performances subjectives

Les manifestations diverses de l'état d'activation ne sont abordées par Kahneman (1973) que sous la forme d'illustrations. Aucun détail textuel n'est apporté, hormis une liste d'observations possibles du bouleversement de l'état homéostatique des individus, avec comme exemples cités l'augmentation du rythme cardiaque, de la dilatation des pupilles, et de la conductance cutanée. L'utilisation de mesures physiologiques permettrait d'apporter davantage de mesures objectives des changements de l'état d'activation induits par la diffusion de musiques et d'odeurs. L'objectif final serait de mieux comprendre l'influence de ses changements sur les performances exécutives, attentionnelles et la vitesse de traitement de l'information de participant·e·s d'âges différents. Pour autant, ces manifestations de l'état d'activation ne devraient pas se limiter à la mesure de constantes physiologiques. Nous faisons la proposition d'étendre ces manifestations de l'état d'activation aux états affectifs et émotionnels éprouvés et évoqués par les participant·e·s, nourrissant une relation bidirectionnelle avec les ressentis de performances évoqués par les participant·e·s. Ainsi, les manifestations diverses de l'état d'activation renseigneraient directement les ressentis de performances des personnes, et ces derniers pourraient avoir une action rétroactive de régulation des affects et des émotions (Egloff *et al.*, 2006 ; Gross, 2002).

En conclusion, le travail de recherche empirique et exploratoire effectué dans cette thèse réaffirme la dimension multifactorielle de l'influence des stimulations sensorielles musicales et olfactives sur les performances exécutives, attentionnelles, sur la vitesse de traitement de l'information ainsi que sur les ressentis de performances des individus d'âges différents. L'utilisation de mesures subjectives et comportementales ont ainsi permis de mettre en évidence les nuances de l'influence d'environnements sensoriels aux variables nombreuses, avec des observations qui permettent d'ouvrir une voie vers l'exploration de l'influence

d'environnements sensoriels personnalisés. Ainsi, de futures recherches pourraient investiguer les possibles bénéfices de la création d'environnements sensoriels personnalisés afin d'améliorer ou maintenir la précision de réponses à certaines tâches cognitives, mais aussi les ressentis positifs à l'égard des performances cognitives réalisées.

Bibliographie

- Ai, Y., Hummel, T., Nie, H., Yang, J., & Han, P. (2023). Reduced neural responses to pleasant odor stimuli after acute psychological stress is associated with cortisol reactivity. *NeuroImage*, 284, 120474. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2023.120474>
- Allain, P., Berrut, G., Etcharry-Bouyx, F., Barre, J., Dubas, F., & Gall, D. L. (2007). Executive functions in normal aging: An examination of script sequencing, script sorting, and script monitoring. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 62(3), P187–P190. <https://doi.org/10.1093/geronb/62.3.P187>
- Alley, T. R., & Greene, M. E. (2008). The Relative and Perceived Impact of Irrelevant Speech, Vocal Music and Non-vocal Music on Working Memory. *Current Psychology*, 27(4), 277–289. <https://doi.org/10.1007/s12144-008-9040-z>
- Amieva, H., Ouvrard, C., Giulioli, C., Meillon, C., Rullier, L., & Dartigues, J.-F. (2015). Self-reported hearing loss, hearing aids, and cognitive decline in elderly adults: A 25-year study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 63(10), 2099–2104. <https://doi.org/10.1111/jgs.13649>
- Anderson, P., Anderson, V., Northam, E., & Taylor, H. G. (2000). Standardization of the Contingency Naming Test (CNT) for school-aged children: A measure of reactive flexibility. In *Standardization of the Contingency Naming Test (CNT) for school-aged children: A measure of reactive flexibility* (Vol. 1, pp. 247–273).
- Andy, B. (2015). Identity: Music, community, and self. In J. Shepherd & K. Devine (Eds.), *The Routledge reader on the sociology of music* (pp. 143–151). Routledge.
- Ansaldo, J., Palazzolo, J., & Corveleyn, X. (2018). The effects of the multisensory approach in the outpatient care of a nursing home resident. *NPG Neurologie - Psychiatrie - Geriatrie*, 18(106), 256–263. <https://doi.org/10.1016/j.npg.2018.04.002>
- Arboleda, A., Arroyo, C., Rodriguez, B., & Arce-Lopera, C. (2022). A stressful task is when to turn off the music: Effect of music on task performance mediated by cognitive effort. *Psychology of Music*, 50(1), 298–311. <https://doi.org/10.1177/0305735621996027>
- Arbuthnott, K., & Frank, J. (2000). Trail Making Test, Part B as a measure of executive control: Validation using a set-switching paradigm. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 22(4), 518–528. [https://doi.org/10.1076/1380-3395\(200008\)22:4;1-0;FT518](https://doi.org/10.1076/1380-3395(200008)22:4;1-0;FT518)
- Ardila, A. (2019). Executive functions brain functional system. In A. Ardila, S. Fatima, & M. Rosselli (Eds.), *Dysexecutive Syndromes: Clinical and Experimental Perspectives* (pp. 29–41). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-25077-5>
- Arnett, J. J. (2008). The neglected 95%: Why American psychology needs to become less American. In *Methodological issues and strategies in clinical research (4th ed.)*. (pp. 115–132). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/14805-008>
- Aron, A. R., Robbins, T. W., & Poldrack, R. A. (2014). Inhibition and the right inferior frontal cortex: One decade on. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(4), 177–185. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.12.003>
- Arshamian, A., Gerkin, R. C., Kruspe, N., Wnuk, E., Floyd, S., O'Meara, C., Garrido Rodriguez, G., Lundström, J. N., Mainland, J. D., & Majid, A. (2022). The perception of odor pleasantness is shared across cultures. *Current Biology*, 32(9), 2061–2066.e3. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.02.062>
- Arshamian, A., Iannilli, E., Gerber, J. C., Willander, J., Persson, J., Seo, H.-S., Hummel, T., & Larsson, M. (2013). The functional neuroanatomy of odor evoked autobiographical memories

- cued by odors and words. *Neuropsychologia*, *51*(1), 123–131.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.10.023>
- Avila, C., Furnham, A., & McClelland, A. (2012). The influence of distracting familiar vocal music on cognitive performance of introverts and extraverts. *Psychology of Music*, *40*(1), 84–93. <https://doi.org/10.1177/0305735611422672>
- Ayabe-Kanamura, S., Schicker, I., Laska, M., Hudson, R., Distel, H., Kobayakawa, T., & Saito, S. (1998). Differences in Perception of Everyday Odors: a Japanese-German Cross-cultural Study. In *Chem. Senses* (Vol. 23). <https://academic.oup.com/chemse/article-abstract/23/1/31/360599>
- Baccarani, A., & Brochard, R. (2023). Relaxing and stimulating ambient odors influence preferences for musical tempo. *Musicae Scientiae*.
<https://doi.org/10.1177/10298649231202976>
- Baccarani, A., Donnadieu, S., Pellissier, S., & Brochard, R. (2023). Relaxing effects of music and odors on physiological recovery after cognitive stress and unexpected absence of multisensory benefit. *Psychophysiology*, *60*(7). <https://doi.org/10.1111/psyp.14251>
- Baccarani, A., Grondin, S., Laflamme, V., & Brochard, R. (2021). Relaxing and stimulating effects of odors on time perception and their modulation by expectancy. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *83*(1), 448–462. <https://doi.org/10.3758/s13414-020-02182-0>
- Baddeley, A. (1996). The fractionation of working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *93*(24), 13468–13472. <https://doi.org/10.1073/pnas.93.24.13468>
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (2019). The phonological loop as a buffer store: An update. In *Cortex* (Vol. 112, pp. 91–106). Masson SpA. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2018.05.015>
- Baddeley, A. D., & Logie, R. H. (2012). Working Memory: The Multiple-Component Model. In *Models of Working Memory* (pp. 28–61). Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/cbo9781139174909.005>
- Baddeley, A., Della Sala, S., Papagno, C., & Spinnler, H. (1997). Dual-task performance in dysexecutive and nondysexecutive patients with a frontal lesion. *Neuropsychology*, *11*(2), 187–194. <https://doi.org/10.1037//0894-4105.11.2.187>
- Badre, D., & D’Esposito, M. (2009). Is the rostro-caudal axis of the frontal lobe hierarchical? *Nature Reviews Neuroscience*, *10*(9), 659–669. <https://doi.org/10.1038/nrn2667>
- Badre, D., & Nee, D. E. (2018). Frontal cortex and the hierarchical control of behavior. *Trends in Cognitive Sciences*, *22*(2), 170–188. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.11.005>
- Bailey, C. E. (2007). Cognitive accuracy and intelligent executive function in the brain and in business. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1118*(1), 122–141.
<https://doi.org/10.1196/annals.1412.011>
- Baines, L. (2008). *A Teacher’s guide to multisensory learning: Improving literacy by engaging the senses* (ASCD).
- Barbey, A. K., Colom, R., Solomon, J., Krueger, F., Forbes, C., & Grafman, J. (2012). An integrative architecture for general intelligence and executive function revealed by lesion mapping. *Brain*, *135*(4), 1154–1164. <https://doi.org/10.1093/brain/aws021>
- Baron, R. A. (1990). Environmentally Induced Positive Affect: Its Impact on Self-Efficacy, Task Performance, Negotiation, and Conflict. *Journal of Applied Social Psychology*, *20*(5), 368–384. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1559-1816.1990.tb00417.x>
- Baron, R. A., & Bronfen, M. (1994). A Whiff of Reality: Empirical Evidence Concerning the Effects of Pleasant Fragrances on Work-Related Behavior. *Journal of Applied Social Psychology*, *24*(13), 1179–1203. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1559-1816.1994.tb01550.x>

- Baron, R. A., & Thomley, J. (1994). A Whiff of Reality: Positive Affect as a Potential Mediator of the Effects of Pleasant Fragrances on Task Performance and Helping. *Environment and Behavior*, 26(6), 766–784. <https://doi.org/10.1177/00139165942666003>
- Baron, R. S. (1986). Distraction-conflict theory: Progress and problems. . . *Advances in Experimental Social Psychology*, 19, 1–40. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0065-2601\(08\)60211-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0065-2601(08)60211-7)
- Bartoletti, R. L., Denis-Noël, A., Boulvert, S., Lopez, M., Faure, S., & Corveleyn, X. (2023). Visuo-Tactile Congruence Leads to Stronger Illusion Than Visuo-Proprioceptive Congruence: a Quantitative and Qualitative Approach to Explore the Rubber Hand Illusion. *Multisensory Research*, 1–49. <https://doi.org/10.1163/22134808-bja10101>
- Bauer, P. J., & Zelazo, P. D. (2014). The national institutes of health toolbox for the assessment of neurological and behavioral function: A tool for developmental science. *Child Development Perspectives*, 8(3), 119–124. <https://doi.org/10.1111/cdep.12080>
- Beaman, C. P., & Jones, D. M. (1997). Role of serial order in the irrelevant speech effect: Tests of the changing-state hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 23(2), 459–471. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.23.2.459>
- Bean, N. L., Stein, B. E., & Rowland, B. A. (2023). Cross-modal exposure restores multisensory enhancement after hemianopia. *Cerebral Cortex*, 33(22), 11036–11046. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhad343>
- Bedard, A. C., Nichols, S., Barbosa, J. A., Schachar, R., Logan, G. D., & Tannock, R. (2002). The development of selective inhibitory control across the life span. *Developmental Neuropsychology*, 21(1), 93–111. https://doi.org/10.1207/S15326942DN2101_5
- Bell, R., Komar, G. F., Mieth, L., & Buchner, A. (2023a). Evidence of a metacognitive illusion in judgments about the effects of music on cognitive performance. *Scientific Reports*, 13(1), 18750. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-46169-x>
- Bell, R., Mieth, L., Röer, J. P., & Buchner, A. (2023b). The reverse Mozart effect: Music disrupts verbal working memory irrespective of whether you like it or not. *Journal of Cognitive Psychology*, 1–20. <https://doi.org/10.1080/20445911.2023.2216919>
- Bembibre, C., & Strlič, M. (2017). Smell of heritage: A framework for the identification, analysis and archival of historic odours. *Heritage Science*, 5(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s40494-016-0114-1>
- Bensafi, M., Rouby, C., Farget, V., Bertrand, B., Vigouroux, M., & Holley, A. (2002). Autonomic Nervous System Responses to Odours: the Role of Pleasantness and Arousal. *Chemical Senses*, 27(8), 703–709. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/chemse/27.8.703>
- Benton, A., & Hamsher, K. (1978). *Multilingual aphasia examination: manual of instructions*. IA: University of Iowa Hospitals.
- Berthold-Losleben, M., Habel, U., Brehl, A.-K., Freiherr, J., Losleben, K., Schneider, F., Amunts, K., & Kohn, N. (2018). Implicit affective rivalry: A behavioral and fMRI study combining olfactory and auditory stimulation. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 12. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2018.00313>
- Binoy, S., Woody, R., Ivry, R. B., & Saban, W. (2023). Feasibility and efficacy of online neuropsychological assessment. *Sensors*, 23(11). <https://doi.org/10.3390/s23115160>
- Blair, C., & Razza, R. P. (2007). Relating effortful control, executive function, and false belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarten. *Child Development*, 78(2), 647–663. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2007.01019.x>
- Blood, A. J., & Zatorre, R. J. (2001). Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(20), 11818–11823. <https://doi.org/10.1073/pnas.191355898>

- Boesveldt, S., Frasnelli, J., Gordon, A. R., & Lundström, J. N. (2010). The fish is bad: Negative food odors elicit faster and more accurate reactions than other odors. *Biological Psychology*, *84*(2), 313–317. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2010.03.006>
- Bonneville-Roussy, A., & Eerola, T. (2018). Age trends in musical preferences in adulthood: 3. Perceived musical attributes as intrinsic determinants of preferences. *Musicae Scientiae*, *22*(3), 394–414. <https://doi.org/10.1177/1029864917718606>
- Bonneville-Roussy, A., Rentfrow, P. J., Xu, M. K., & Potter, J. (2013). Music through the ages: Trends in musical engagement and preferences from adolescence through middle adulthood. *Journal of Personality and Social Psychology*, *105*(4), 703–717. <https://doi.org/10.1037/a0033770>
- Bonneville-Roussy, A., Stillwell, D., Kosinski, M., & Rust, J. (2017). Age trends in musical preferences in adulthood: 1. Conceptualization and empirical investigation. *Musicae Scientiae*, *21*(4), 369–389. <https://doi.org/10.1177/1029864917691571>
- Borella, E., Carretti, B., Meneghetti, C., Carbone, E., Vincenzi, M., Madonna, J. C., Grassi, M., Fairfield, B., & Mammarella, N. (2019). Is working memory training in older adults sensitive to music? *Psychological Research*, *83*(6), 1107–1123. <https://doi.org/10.1007/s00426-017-0961-8>
- Boswell, R. (2008). Scents of identity: Fragrance as heritage in Zanzibar. *Journal of Contemporary African Studies*, *26*(3), 295–311. <https://doi.org/10.1080/02589000802332507>
- Bottiroli, S., Rosi, A., Russo, R., Vecchi, T., & Cavallini, E. (2014). The cognitive effects of listening to background music on older adults: processing speed improves with upbeat music, while memory seems to benefit from both upbeat and downbeat music. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *6*(OCT). <https://doi.org/10.3389/fnagi.2014.00284>
- Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands ‘feel’ touch that eyes see. *Nature*, *391*(6669), 756–756. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/35784>
- Bouazzaoui, B., Angel, L., Fay, S., Tacconnat, L., Charlotte, F., & Isingrini, M. (2014). Does the greater involvement of executive control in memory with age act as a compensatory mechanism? *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *68*(1), 59–66. <https://doi.org/10.1037/cep0000005>
- Bowie, C. R., & Harvey, P. D. (2006). Administration and interpretation of the Trail Making Test. *Nature Protocols*, *1*(5), 2277–2281. <https://doi.org/10.1038/nprot.2006.390>
- Brauchli, P., Rüegg, P. B., Etzweiler, F., & Zeier, H. (1995). Electrocortical and autonomic alteration by administration of a pleasant and an unpleasant odor. *Chemical Senses*, *20*(5), 505–515. <https://doi.org/10.1093/chemse/20.5.505>
- Braver, T. S., Barch, D. M., Keys, B. A., Carter, C. S., Cohen, J. D., Kaye, J. A., Janowsky, J. S., Taylor, S. F., Yesavage, J. A., Mumenthaler, M. S., Jagust, W. J., & Reed, B. R. (2001). Context processing in older adults: Evidence for a theory relating cognitive control to neurobiology in healthy aging. *Journal of Experimental Psychology: General*, *130*(4), 746–763.
- Bryan, J., & Luszcz, M. A. (2000). Measurement of executive function: Considerations for detecting adult age differences. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *22*(1), 40–55. [https://doi.org/10.1076/1380-3395\(200002\)22:1;1-8;FT040](https://doi.org/10.1076/1380-3395(200002)22:1;1-8;FT040)
- Buchanan, T. W., Tranel, D., & Adolphs, R. (2003). A specific role for the human amygdala in olfactory memory. *Learning and Memory*, *10*(5), 319–325. <https://doi.org/10.1101/lm.62303>
- Burges Watson, D. L., Campbell, M., Hopkins, C., Smith, B., Kelly, C., & Deary, V. (2021). Altered smell and taste: Anosmia, parosmia and the impact of long Covid-19. *PLOS ONE*, *16*(9), e0256998. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256998>

- Burgess, P. W., Alderman, N., Evans, J., Emslie, H., & Wilson, B. A. (1998). The ecological validity of tests of executive function. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 4(6), 547–558. <https://doi.org/10.1017/S1355617798466037>
- Burgess, P. W., Alderman, N., Forbes, C., Costello, A., M-A.Coates, L., Dawson, D. R., Anderson, N. D., Gilbert, S. J., Dumontheil, I., & Channon, S. (2006). The case for the development and use of “ecologically valid” measures of executive function in experimental and clinical neuropsychology. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 12(2), 194–209. <https://doi.org/10.1017/S1355617706060310>
- Burkhard, A., Elmer, S., Kara, D., Brauchli, C., & Jäncke, L. (2018). The effect of background music on inhibitory functions: An ERP study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00293>
- Campbell Arnold, T., You, Y., Ding, M., Zuo, X.-N., de Araujo, I., & Li, W. (2020). Functional connectome analyses reveal the human olfactory network organization. *ENEURO*, 7(4), ENEURO.0551-19.2020. <https://doi.org/10.1523/ENEURO.0551-19.2020>
- Carelli, L., Morganti, F., Weiss, P. L., Kizony, R., & Riva, G. (2008). A virtual reality paradigm for the assessment and rehabilitation of executive function deficits post stroke: Feasibility study. *2008 Virtual Rehabilitation*, 99–104. <https://doi.org/10.1109/ICVR.2008.4625144>
- Carlson, E., Wilson, J., Baltazar, M., Duman, D., Peltola, H. R., Toiviainen, P., & Saarikallio, S. (2021). The role of music in everyday life during the first wave of the coronavirus pandemic: A mixed-methods exploratory study. *Frontiers in Psychology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.647756>
- Cepeda, N. J., Kramer, A. F., & Gonzalez de Sather, J. C. (2001). Changes in executive control across the life span: examination of task-switching performance. *Developmental Psychology*, 37(5), 715–730. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.37.5.715>
- Challakere Ramaswamy, V. M., & Schofield, P. W. (2022). Olfaction and executive cognitive performance: A systematic review. *Frontiers in Psychology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.871391>
- Chao, Y., Woosch, D., Pieniak, M., & Hummel, T. (2022). Gender difference in ratings of odor intensity during olfactory training. *Journal of Sensory Studies*, 37(6). <https://doi.org/10.1111/joss.12784>
- Charles, S. T. (2010). Strength and vulnerability integration: A model of emotional well-being across adulthood. *Psychological Bulletin*, 136(6), 1068–1091. <https://doi.org/10.1037/a0021232>
- Chaytor, N., Schmitter-Edgecombe, M., & Burr, R. (2006). Improving the ecological validity of executive functioning assessment. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 21(3), 217–227. <https://doi.org/10.1016/j.acn.2005.12.002>
- Chew, A. S. Q., Yu, Y. T., Chua, S. W., & Gan, S. K. E. (2016). The effects of familiarity and language of background music on working memory and language tasks in Singapore. *Psychology of Music*, 44(6), 1431–1438. <https://doi.org/10.1177/0305735616636209>
- Cho, K., & Kim, M. (2023). Effects of aromatherapy on depression: A meta-analysis of randomized controlled trials. *General Hospital Psychiatry*, 84, 215–225. <https://doi.org/10.1016/j.genhosppsych.2023.08.003>
- Chrea, C., Grandjean, D., Delplanque, S., Cayeux, I., Le Calvé, B., Aymard, L., Velazco, M. I., Sander, D., & Scherer, K. R. (2009). Mapping the semantic space for the subjective experience of emotional responses to odors. *Chemical Senses*, 34(1), 49–62. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjn052>
- Chrea, C., Valentin, D., Sulmont-Rossé, C., Ly Mai, H., Hoang Nguyen, D., & Abdi, H. (2004). Culture and odor categorization: Agreement between cultures depends upon the odors. *Food Quality and Preference*, 15(7–8), 669–679. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2003.10.005>

- Christopher, E. A., & Shelton, J. T. (2017). Individual differences in working memory predict the effect of music on student performance. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 6(2), 167–173. <https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2017.01.012>
- Chu, S. (2000). Odour-evoked autobiographical memories: Psychological investigations of proustian phenomena. *Chemical Senses*, 25(1), 111–116. <https://doi.org/10.1093/chemse/25.1.111>
- Cienkowski, K. M., & Carney, A. E. (2002). Auditory-visual speech perception and aging. *Ear and Hearing*, 23(5), 439–449. <https://doi.org/10.1097/00003446-200210000-00006>
- Clare, A., Camic, P. M., Crutch, S. J., West, J., Harding, E., & Brotherhood, E. (2020). Using music to develop a multisensory communicative environment for people with late-stage dementia. *The Gerontologist*, 60(6), 1115–1125. <https://doi.org/10.1093/geront/gnz169>
- Cloutier, A., Fernandez, N. B., Houde-Archambault, C., & Gosselin, N. (2020). Effect of background music on attentional control in older and young adults. *Frontiers in Psychology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.557225>
- Cohrdes, C., Wrzus, C., Frisch, S., & Riediger, M. (2017). Tune yourself in: Valence and arousal preferences in music-listening choices from adolescence to old age. *Developmental Psychology*, 53(9), 1777–1794. <https://doi.org/10.1037/dev0000362>
- Cohrdes, C., Wrzus, C., Wald-Fuhrmann, M., & Riediger, M. (2020). “The sound of affect”: Age differences in perceiving valence and arousal in music and their relation to music characteristics and momentary mood. *Musicae Scientiae*, 24(1), 21–43. <https://doi.org/10.1177/1029864918765613>
- Collette, F., Hogge, M., Salmon, E., & Van Der Linden, M. (2006). Exploration of the neural substrates of executive functioning by functional neuroimaging. In *Neuroscience* (Issue 1).
- Collette, F., Van Der Linden, M., & Salmon, E. (1999). Executive dysfunction in Alzheimer’s disease. *Cortex*, 35(1), 57–72. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70785-8](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70785-8)
- Colonus, H., & Diederich, A. (2004). Multisensory interaction in saccadic reaction time: A time-window-of-integration model. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(6), 1000–1009. <https://doi.org/10.1162/0898929041502733>
- Comalli, P. E., Wapner, S., & Werner, H. (1962). Interference effects of stroop color-word test in childhood, adulthood, and aging. *Journal of Genetic Psychology*, 100(1), 47–53. <https://doi.org/10.1080/00221325.1962.10533572>
- Cornwell, E. Y., & Waite, L. J. (2009). Social disconnectedness, perceived isolation, and health among older adults. *Journal of Health and Social Behavior*, 50(1), 31–48. <https://doi.org/10.1177/002214650905000103>
- Cournoyer Lemaire, E. (2019). The effect of background music on episodic memory. *Psychomusicology: Music, Mind, and Brain*, 29(1), 22–34. <https://doi.org/10.1037/pmu0000234>
- Craik, F. I. M., & Bialystok, E. (2006). Cognition through the lifespan: Mechanisms of change. In *Trends in Cognitive Sciences* (Vol. 10, Issue 3, pp. 131–138). <https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.01.007>
- Craik, F. I. M., & Grady, C. L. (2002). Aging, memory, and frontal lobe functioning. In D. T. Stuss & R. T. Knight (Eds.), *Principles of frontal lobe function* (pp. 528–540). Oxford University Press.
- Cramm, H. A., Krupa, T. M., Missiuna, C. A., Lysaght, R. M., & Parker, K. H. (2013). Executive functioning: A scoping review of the occupational therapy literature. *Canadian Journal of Occupational Therapy*, 80(3), 131–140. <https://doi.org/10.1177/0008417413496060>
- Crawford, H. J., & Strapp, C. M. (1994). Effects of vocal and instrumental music on visuospatial and verbal performance as moderated by studying preference and personality. *Personality and Individual Differences*, 16(2), 237–245. [https://doi.org/10.1016/0191-8869\(94\)90162-7](https://doi.org/10.1016/0191-8869(94)90162-7)

- Crews, D. E. (2022). Aging, frailty, and design of built environments. *Journal of Physiological Anthropology*, 41(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s40101-021-00274-w>
- Crisinel, A. S., Jacquier, C., Deroy, O., & Spence, C. (2013). Composing with cross-modal correspondences: Music and odors in concert. *Chemosensory Perception*, 6(1), 45–52. <https://doi.org/10.1007/s12078-012-9138-4>
- Crisinel, A. S., & Spence, C. (2012). A fruity note: Crossmodal associations between odors and musical notes. *Chemical Senses*, 37(2), 151–158. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjr085>
- Cristofori, I., Cohen-Zimmerman, S., & Grafman, J. (2019). Executive functions. In *Handbook of Clinical Neurology* (Vol. 163, pp. 197–219). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804281-6.00011-2>
- Croy, I., Bendas, J., Wittrodt, N., Lenk, M., Joraschky, P., & Weidner, K. (2017). Gender-specific relation between olfactory sensitivity and disgust perception. *Chemical Senses*, bjr163. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjr163>
- Cui, Y., Shen, M., Ma, Y., & Wen, S. W. (2017). Senses make sense: An individualized multisensory stimulation for dementia. *Medical Hypotheses*, 98, 11–14. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2016.11.006>
- Ćwiek, A., Fuchs, S., Draxler, C., Asu, E. L., Dediu, D., Hiovain, K., Kawahara, S., Koutalidis, S., Krifka, M., Lippus, P., Lupyan, G., Oh, G. E., Paul, J., Petrone, C., Ridouane, R., Reiter, S., Schümchen, N., Szalontai, Á., Ünal-Logacev, Ö., ... Winter, B. (2022). The bouba/kiki effect is robust across cultures and writing systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 377(1841). <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0390>
- Daigneault, S., Braun, C. M. J., & Whitaker, H. A. (1992). Early effects of normal aging on perseverative and non-perseverative prefrontal measures. *Developmental Neuropsychology*, 8(1), 99–114. <https://doi.org/10.1080/87565649209540518>
- Damasio, A. R. (1985). Disorders of complex visual processing: agnosias, achromatopsia, Balint's syndrome, and related difficulties of orientation and construction. *Principles of Behavioral Neurology*, 26, 259–288.
- Darrow, A.-A., Johnson, C., Agnew, S., Fuller, E. R., & Uchisaka, M. (2006). Effect of preferred music as a distraction on music majors' and nonmusic majors' selective attention. *Bulletin of the Council for Research in Music Education*, 170, 21–31. <https://www.jstor.org/stable/40319346>
- Davidson, M. C., Amso, D., Anderson, L. C., & Diamond, A. (2006). Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia*, 44(11), 2037–2078. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.02.006>
- Davison, S. M. C., Deeprose, C., & Terbeck, S. (2018). A comparison of immersive virtual reality with traditional neuropsychological measures in the assessment of executive functions. *Acta Neuropsychiatrica*, 30(2), 79–89. <https://doi.org/10.1017/neu.2017.14>
- de Araujo, I. E., Rolls, E. T., Velazco, M. I., Margot, C., & Cayeux, I. (2005). Cognitive modulation of olfactory processing. *Neuron*, 46(4), 671–679. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2005.04.021>
- de Dieuleveult, A. L., Siemonsma, P. C., van Erp, J. B. F., & Brouwer, A.-M. (2017). Effects of aging in multisensory integration: A systematic review. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2017.00080>
- de Groot, A. M. B., & Smedinga, H. E. (2014). Let the music play!: A short-term but no long-term detrimental effect of vocal background music with familiar language lyrics on foreign language vocabulary learning. *Studies in Second Language Acquisition*, 36(4), 681–707. <https://doi.org/10.1017/S0272263114000059>

- de la Mora Velasco, E., & Hirumi, A. (2020). The effects of background music on learning: A systematic review of literature to guide future research and practice. *Educational Technology Research and Development*, 68(6), 2817–2837. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09783-4>
- De Lucas, C. R., & Leventer, R. J. (2008). Developmental trajectories of executive functions across lifespan. In V. Anderson, R. Jacobs, & P. J. Anderson (Eds.), *Executive Functions and the Frontal Lobes: A Lifespan Perspective* (Vols. 0-203-83786-X, pp. 22–53). Psychology Press.
- De Oliveira, T. C. G., Soares, F. C., De Macedo, L. D. E. D., Diniz, D. L. W. P., Bento-Torres, N. V. O., & Picanço-Diniz, C. W. (2014). Beneficial effects of multisensory and cognitive stimulation on age-related cognitive decline in long-term-care institutions. *Clinical Interventions in Aging*, 9, 309–321. <https://doi.org/10.2147/CIA.S54383>
- de Paula, J. J., Paiva, G. C. de C., & Costa, D. de S. (2015). Use of a modified version of the switching verbal fluency test for the assessment of cognitive flexibility. *Dementia e Neuropsychologia*, 9(3), 258–264. <https://doi.org/10.1590/1980-57642015dn93000008>
- Del Gatto, C., Indraccolo, A., Pedale, T., & Brunetti, R. (2023). Crossmodal interference on counting performance: Evidence for shared attentional resources. *PLOS ONE*, 18(11), e0294057. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0294057>
- Delis, D. C., Kaplan, E., & Kramer, J. H. (2001). Delis-Kaplan executive function system (D-KEFS). *Assessment*.
- Delis, D. C., Kramer, J. H., Kaplan, E., & Ober, B. A. (2000). California Verbal Learning Test--Second Edition (CVLT –II). *Assessment*.
- Delplanque, S., Grandjean, D., Chrea, C., Aymard, L., Cayeux, I., Le Calvé, B., Velazco, M. I., Scherer, K. R., & Sander, D. (2008). Emotional processing of odors: Evidence for a nonlinear relation between pleasantness and familiarity evaluations. *Chemical Senses*, 33(5), 469–479. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjn014>
- Dempster, F. N. (1992). The rise and fall of the inhibitory mechanism: toward a unified theory of cognitive development and aging. *Developmental Review*, 12, 45–75. [https://doi.org/10.1016/0273-2297\(92\)90003-K](https://doi.org/10.1016/0273-2297(92)90003-K)
- Deneve, S., & Pouget, A. (2004). Bayesian multisensory integration and cross-modal spatial links. *Journal of Physiology-Paris*, 98(1–3), 249–258. <https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2004.03.011>
- Deng, M., & Wu, F. (2020). Impact of background music on reaction test and visual pursuit test performance of introverts and extraverts. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 78, 102976. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2020.102976>
- DeNora, T. (2000). *Music in everyday life*. Cambridge university press.
- Deroy, O., Crisinel, A. S., & Spence, C. (2013). Crossmodal correspondences between odors and contingent features: Odors, musical notes, and geometrical shapes. *Psychonomic Bulletin and Review*, 20(5), 878–896. <https://doi.org/10.3758/s13423-013-0397-0>
- Devanand, D. P. (2016). Olfactory Identification Deficits, Cognitive Decline, and Dementia in Older Adults. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, 24(12), 1151–1157. <https://doi.org/10.1016/j.jagp.2016.08.010>
- Devanand, D. P., Lee, S., Manly, J., Andrews, H., Schupf, N., Doty, R. L., Stern, Y., Zahodne, L. B., Louis, E. D., & Mayeux, R. (2015). Olfactory deficits predict cognitive decline and Alzheimer dementia in an urban community. *Neurology*, 84(2), 182–189. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000001132>
- Diamond, A. (2013). Executive functions. In *Annual Review of Psychology* (Vol. 64, pp. 135–168). Annual Reviews Inc. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Dibben, N., & Williamson, V. J. (2007). An exploratory survey of in-vehicle music listening. *Psychology of Music*, 35(4), 571–589. <https://doi.org/10.1177/0305735607079725>

- Diedenhofen, B., & Musch, J. (2015). Cocor: A comprehensive solution for the statistical comparison of correlations. *PLoS ONE*, *10*(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0121945>
- Diederich, A., Colonius, H., & Schomburg, A. (2008). Assessing age-related multisensory enhancement with the time-window-of-integration model. *Neuropsychologia*, *46*(10), 2556–2562. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.03.026>
- Dikecligil, G. N., & Gottfried, J. A. (2024). What does the human olfactory system do, and how does it do it? *Annual Review of Psychology*, *75*(1). <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-042023-101155>
- Dintica, C. S., Marseglia, A., Rizzuto, D., Wang, R., Seubert, J., Arfanakis, K., Bennett, D. A., & Xu, W. (2019). Impaired olfaction is associated with cognitive decline and neurodegeneration in the brain. *Neurology*, *92*(7), E700–E709. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000006919>
- Distel, H., Ayabe-Kanamura, S., Martínez-Gómez, M., Schicker, I., Kobayakawa, T., Saito, S., & Hudson, R. (1999). Perception of Everyday Odors-Correlation between Intensity, Familiarity and Strength of Hedonic Judgement. *Chemical Senses*, *24*(2), 191–199. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/chemse/24.2.191>
- Donders, F. C. (1969). On the speed of mental processes. *Acta Psychologica*, *30*, 412–431.
- Doucé, L., & Janssens, W. (2013). The presence of a pleasant ambient scent in a fashion store. *Environment and Behavior*, *45*(2), 215–238. <https://doi.org/10.1177/0013916511410421>
- Drugowitsch, J., & Pouget, A. (2012). Probabilistic vs. non-probabilistic approaches to the neurobiology of perceptual decision-making. *Current Opinion in Neurobiology*, *22*(6), 963–969. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2012.07.007>
- Du, J., Rolls, E. T., Cheng, W., Li, Y., Gong, W., Qiu, J., & Feng, J. (2020). Functional connectivity of the orbitofrontal cortex, anterior cingulate cortex, and inferior frontal gyrus in humans. *Cortex*, *123*, 185–199. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2019.10.012>
- Duchek, J. M., Balota, D. A., Tse, C. S., Holtzman, D. M., Fagan, A. M., & Goate, A. M. (2009). The Utility of Intraindividual Variability in Selective Attention Tasks as an Early Marker for Alzheimer’s Disease. *Neuropsychology*, *23*(6), 746–758. <https://doi.org/10.1037/a0016583>
- Echaide, C., del Río, D., & Pacios, J. (2019). The differential effect of background music on memory for verbal and visuospatial information. *Journal of General Psychology*, *146*(4), 443–458. <https://doi.org/10.1080/00221309.2019.1602023>
- Egloff, B., Schmukle, S. C., Burns, L. R., & Schwerdtfeger, A. (2006). Spontaneous emotion regulation during evaluated speaking tasks: Associations with negative affect, anxiety expression, memory, and physiological responding. *Emotion*, *6*(3), 356–366. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.6.3.356>
- Ehrlichman, H., & Halpern, J. N. (1988). Affect and memory: Effects of pleasant and unpleasant odors on retrieval of happy and unhappy memories. *Journal of Personality and Social Psychology*, *55*(5), 769–779. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.55.5.769>
- Elkind, J. S., Rubin, E., Rosenthal, S., Skoff, B., & Prather, P. (2001). A simulated reality scenario compared with the computerized Wisconsin Card Sorting Test: An analysis of preliminary results. *CyberPsychology & Behavior*, *4*(4), 489–496. <https://doi.org/10.1089/109493101750527042>
- Ellermeier, W., & Zimmer, K. (2014). The psychoacoustics of the irrelevant sound effect. *Acoustical Science and Technology*, *35*(1), 10–16. <https://doi.org/10.1250/ast.35.10>
- Epple, G., & Herz, R. S. (1999). Ambient Odors Associated to Failure Influence Cognitive Performance in Children. In *Inc. Dev Psy-chobiol* (Vol. 35). John Wiley & Sons.
- Ernst, M. O., & Banks, M. S. (2002). Humans integrate visual and haptic information in a statistically optimal fashion. *Nature*, *415*(6870), 429–433. <https://doi.org/10.1038/415429a>
- Ernst, M. O., & Bühlhoff, H. H. (2004). Merging the senses into a robust percept. In *Trends in Cognitive Sciences* (Vol. 8, Issue 4, pp. 162–169). <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.02.002>

- Fagundo, A. B., Jiménez-Murcia, S., Giner-Bartolomé, C., Islam, M. A., De La Torre, R., Pastor, A., Casanueva, F. F., Crujeiras, A. B., Granero, R., Baños, R., Botella, C., Fernández-Real, J. M., Frühbeck, G., Gómez-Ambrosi, J., Menchón, J. M., Tinahones, F. J., & Fernández-Aranda, F. (2015). Modulation of higher-order olfaction components on executive functions in humans. *PLoS ONE*, *10*(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130319>
- Fang, Y., Yu, Z., Liu, J. K., & Chen, F. (2019). A unified neural circuit of causal inference and multisensory integration. *Neurocomputing*, *358*, 355–368. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2019.05.067>
- Ferdenzi, C., Bousquet, C., Aguera, P.-E., Dantec, M., Daudé, C., Fornoni, L., Fournel, A., Kassan, A., Mantel, M., Moranges, M., Moussy, E., Richard Ortégón, S., Rouby, C., & Bensafi, M. (2021). Recovery from COVID-19-related olfactory disorders and quality of life: Insights from an observational online study. *Chemical Senses*, *46*. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjab028>
- Ferdenzi, C., Delplanque, S., Barbosa, P., Court, K., Guinard, J. X., Guo, T., Craig Roberts, S., Schirmer, A., Porcherot, C., Cayeux, I., Sander, D., & Grandjean, D. (2013a). Affective semantic space of scents. Towards a universal scale to measure self-reported odor-related feelings. *Food Quality and Preference*, *30*(2), 128–138. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2013.04.010>
- Ferdenzi, C., Roberts, S. C., Schirmer, A., Delplanque, S., Cekic, S., Porcherot, C., Cayeux, I., Sander, D., & Grandjean, D. (2013b). Variability of affective responses to odors: Culture, gender, and olfactory knowledge. *Chemical Senses*, *38*(2), 175–186. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjs083>
- Ferdenzi, C., Schirmer, A., Roberts, S. C., Delplanque, S., Porcherot, C., Cayeux, I., Velazco, M.-I., Sander, D., Scherer, K. R., & Grandjean, D. (2011). Affective dimensions of odor perception: A comparison between Swiss, British, and Singaporean populations. *Emotion*, *11*(5), 1168–1181. <https://doi.org/10.1037/a0022853>
- Ferguson, H. J., Brunsdon, V. E. A., & Bradford, E. E. F. (2021). The developmental trajectories of executive function from adolescence to old age. *Scientific Reports*, *11*(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80866-1>
- Ferreri, L., Bigand, E., & Bugaiska, A. (2015). The positive effect of music on source memory. *Musicae Scientiae*, *19*(4), 402–411. <https://doi.org/10.1177/1029864915604684>
- Ferreri, L., Bigand, E., Perrey, S., Muthalib, M., Bard, P., & Bugaiska, A. (2014). Less effort, better results: How does music act on prefrontal cortex in older adults during verbal encoding? An fNIRS study. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00301>
- Ferreri, L., Mas-Herrero, E., Zatorre, R. J., Ripollés, P., Gomez-Andres, A., Alicart, H., Olivé, G., Marco-Pallarés, J., Antonijoan, R. M., Valle, M., Riba, J., & Rodriguez-Fornells, A. (2019). Dopamine modulates the reward experiences elicited by music. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *116*(9), 3793–3798. <https://doi.org/10.1073/pnas.1811878116>
- Ferreri, L., & Verga, L. (2016). Benefits of music on verbal learning and memory. *Music Perception*, *34*(2), 167–182. <https://doi.org/10.1525/mp.2016.34.2.167>
- Filippi, R., Ceccolini, A., Periche-Tomas, E., & Bright, P. (2020). Developmental trajectories of metacognitive processing and executive function from childhood to older age. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *73*(11), 1757–1773. <https://doi.org/10.1177/1747021820931096>
- Finkelmeyer, A., Kellermann, T., Bude, D., Nießen, T., Schwenzer, M., Mathiak, K., & Reske, M. (2010). Effects of aversive odour presentation on inhibitory control in the Stroop colour-word interference task. *BMC Neuroscience*, *11*(1), 131. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-11-131>

- Fjaeldstad, A., Kjaergaard, T., Van Hartevelt, T. J., Moeller, A., Kringelbach, M. L., & Ovesen, T. (2015). Olfactory screening: validation of Sniffin' Sticks in Denmark. *Clinical Otolaryngology*, *40*(6), 545–550. <https://doi.org/10.1111/coa.12405>
- Fleming, K. A., Heintzelman, S. J., & Bartholow, B. D. (2016). Specifying associations between conscientiousness and executive functioning: Mental set shifting, not prepotent response inhibition or working memory updating. *Journal of Personality*, *84*(3), 348–360. <https://doi.org/10.1111/jopy.12163>
- Forster, S., & Lavie, N. (2008). Failures to ignore entirely irrelevant distractors: The role of load. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *14*(1), 73–83. <https://doi.org/10.1037/1076-898X.14.1.73>
- Fort, M., Martin, A., & Peperkamp, S. (2015). Consonants are more Important than vowels in the bouba-kiki effect. *Language and Speech*, *58*(2), 247–266. <https://doi.org/10.1177/0023830914534951>
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2017). Unity and diversity of executive functions: Individual differences as a window on cognitive structure. *Cortex*, *86*, 186–204. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.04.023>
- Friedman, N. P., & Robbins, T. W. (2022). The role of prefrontal cortex in cognitive control and executive function. In *Neuropsychopharmacology* (Vol. 47, Issue 1, pp. 72–89). Springer Nature. <https://doi.org/10.1038/s41386-021-01132-0>
- Fulkerson, M. (2020). Philosophical insights. In K. Sathian & V. S. Ramachandran (Eds.), *Multisensory perception: From laboratory to clinic* (pp. 41–55). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812492-5.00002-4>
- Furnham, A., & Allass, K. (1999). The influence of musical distraction of varying complexity on the cognitive performance of extroverts and introverts. *European Journal of Personality*, *13*(1), 27–38. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0984\(199901/02\)13:1<27::AID-PER318>3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0984(199901/02)13:1<27::AID-PER318>3.0.CO;2-R)
- Furnham, A., & Bradley, A. (1997). Music while you work: the differential distraction of background music on the cognitive test performance of introverts and extraverts. *Applied Cognitive Psychology*, *11*(5), 445–455. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0720\(199710\)11:5<445::AID-ACP472>3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0720(199710)11:5<445::AID-ACP472>3.0.CO;2-R)
- Furnham, A., & Strbac, L. (2002). Music is as distracting as noise: The differential distraction of background music and noise on the cognitive test performance of introverts and extraverts. *Ergonomics*, *45*(3), 203–217. <https://doi.org/10.1080/00140130210121932>
- Furnham, A., Trew, S., & Sneade, I. (1999). The distracting effects of vocal and instrumental music on the cognitive test performance of introverts and extraverts. *Personality and Individual Differences*, *27*(2), 381–392. [https://doi.org/10.1016/S0191-8869\(98\)00249-9](https://doi.org/10.1016/S0191-8869(98)00249-9)
- Gallace, A., Boschini, E., & Spence, C. (2011). On the taste of “Bouba” and “Kiki”: An exploration of word–food associations in neurologically normal participants. *Cognitive Neuroscience*, *2*(1), 34–46. <https://doi.org/10.1080/17588928.2010.516820>
- Gallucci, M. (2019). *GAMLj: General analyses for linear models*. [jamovi module]. <https://gamlj.github.io/>
- Garon, N., Bryson, S. E., & Smith, I. M. (2008). Executive Function in Preschoolers: A Review Using an Integrative Framework. *Psychological Bulletin*, *134*(1), 31–60. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.134.1.31>
- Gheewalla, F., McClelland, A., & Furnham, A. (2021). Effects of background noise and extraversion on reading comprehension performance. *Ergonomics*, *64*(5), 593–599. <https://doi.org/10.1080/00140139.2020.1854352>
- Gilbert, S. J., & Burgess, P. W. (2008). Executive function. *Current Biology*, *18*(3), R110–R114. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.12.014>

- Girard, S., Collignon, O., & Lepore, F. (2011). Multisensory gain within and across hemispaces in simple and choice reaction time paradigms. *Experimental Brain Research*, 214(1), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s00221-010-2515-9>
- Giudici, M., Beccaluva, E., Gianotti, M., Barbieri, J., Caslini, G., & Garzotto, F. (2022). A pilot study on interactive multisensory environments for neuropsychological assessment. *Proceedings of the 2022 International Conference on Advanced Visual Interfaces*, 1–5. <https://doi.org/10.1145/3531073.3531169>
- Glachet, O., Moustafa, A. A., Gallouj, K., & El Haj, M. (2019). Smell your memories: Positive effect of odor exposure on recent and remote autobiographical memories in Alzheimer's disease. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 41(6), 555–564. <https://doi.org/10.1080/13803395.2019.1586840>
- Goltz, F., & Sadakata, M. (2021). Do you listen to music while studying? A portrait of how people use music to optimize their cognitive performance. *Acta Psychologica*, 220, 103417. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2021.103417>
- Gomez, P., Ratcliff, R., & Perea, M. (2007). Supplemental Material for A Model of the Go/No-Go Task. *Journal of Experimental Psychology: General*, 136(3), 389. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.136.3.389.supp>
- Gonzalez, M. F., & Aiello, J. R. (2019). More than meets the ear: Investigating how music affects cognitive task performance. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 25(3), 431–444. <https://doi.org/10.1037/xap0000202>
- Gosling, S. D., Vazire, S., Srivastava, S., & John, O. P. (2004). Should we trust web-based studies? A comparative analysis of six preconceptions about internet questionnaires. *American Psychologist*, 59(2), 93–104. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.59.2.93>
- Gottfried, J. A. (2010). Central mechanisms of odour object perception. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(9), 628–641. <https://doi.org/10.1038/nrn2883>
- Grant, D. A., & Berg, E. A. (1993). Wisconsin Card Sorting Test. *Journal of Experimental Psychology*.
- Greasley, A. E., & Lamont, A. (2011). Exploring engagement with music in everyday life using experience sampling methodology. *Musicae Scientiae*, 15(1), 45–71. <https://doi.org/10.1177/1029864910393417>
- Grinin, L., Grinin, A., & Korotayev, A. (2023). *Global aging: An integral problem of the future. How to turn a problem into a development driver?* (pp. 117–135). https://doi.org/10.1007/978-3-031-34999-7_7
- Gross, J. J. (2002). Emotion regulation: Affective, cognitive, and social consequences. *Psychophysiology*, 39(3), 281–291. <https://doi.org/10.1017/S0048577201393198>
- Haba-Rubio, J., & Krieger, J. (2011). Somnolence, fatigue et hypersomnie. In *Medecine du Sommeil* (Vol. 8, Issue 1, pp. 5–14). <https://doi.org/10.1016/j.msom.2011.01.002>
- Hämmerer, D., Li, S. C., Müller, V., & Lindenberger, U. (2010). An electrophysiological study of response conflict processing across the lifespan: Assessing the roles of conflict monitoring, cue utilization, response anticipation, and response suppression. *Neuropsychologia*, 48(11), 3305–3316. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.07.014>
- Hampshire, A., Chamberlain, S. R., Monti, M. M., Duncan, J., & Owen, A. M. (2010). The role of the right inferior frontal gyrus: inhibition and attentional control. *NeuroImage*, 50(3), 1313–1319. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.12.109>
- Hartshorne, J. K., & Germine, L. T. (2015). When does cognitive functioning peak? The synchronous rise and fall of different cognitive abilities across the life span. *Psychological Science*, 26(4), 433–443. <https://doi.org/10.1177/0956797614567339>
- Hauser, M. D., & McDermott, J. (2003). The evolution of the music faculty: A comparative perspective. *Nature Neuroscience*, 6(7), 663–668. <https://doi.org/10.1038/nn1080>

- He, W., Goodkind, D., & Kowal, P. (2016). *An Aging World: 2015*.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1088.9362>
- Hedigan, F., Sheridan, H., & Sasse, A. (2023). Benefit of inhalation aromatherapy as a complementary treatment for stress and anxiety in a clinical setting – A systematic review. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 52, 101750.
<https://doi.org/10.1016/j.ctcp.2023.101750>
- Hedner, M., Larsson, M., Arnold, N., Zucco, G. M., & Hummel, T. (2010). Cognitive factors in odor detection, odor discrimination, and odor identification tasks. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 32(10), 1062–1067.
<https://doi.org/10.1080/13803391003683070>
- Henrich, J., Heine, S. J., & Norenzayan, A. (2010). The weirdest people in the world? *Behavioral and Brain Sciences*, 33(2–3), 61–83. <https://doi.org/10.1017/S0140525X0999152X>
- Herlekar, S. S., Siddangoudra, S., & Professor, A. (2019). Effect of classical instrumental music on successive divided attention tests in Indian and Malaysian first year medical students - A randomized control trial. *Indian Journal of Physiology and Pharmacology*, 63(1), 2–7.
- Herz, R. (2016). The role of odor-evoked memory in psychological and physiological health. *Brain Sciences*, 6(3), 22. <https://doi.org/10.3390/brainsci6030022>
- Herz, R. S. (1998). Are Odors the Best Cues to Memory? A Cross-Modal Comparison of Associative Memory Stimuli. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 855(1), 670–674.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1998.tb10643.x>
- Herz, R. S. (2002). Influences of Odors on Mood and Affective Cognition. In *Olfaction, Taste, and Cognition* (pp. 160–177). Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511546389.016>
- Herz, R. S. (2009). Aromatherapy facts and fictions: A scientific analysis of olfactory effects on mood, physiology and behavior. *International Journal of Neuroscience*, 119(2), 263–290.
<https://doi.org/10.1080/00207450802333953>
- Herz, R. S., & Bajec, M. R. (2022). Your money or your sense of smell? A comparative analysis of the sensory and psychological value of olfaction. *Brain Sciences*, 12(3), 299.
<https://doi.org/10.3390/brainsci12030299>
- Herz, R. S., Schankler, C., & Beland, S. (2004). Olfaction, emotion and associative learning: Effects on motivated behavior. *Motivation and Emotion*, 28(4), 363–383.
<https://doi.org/10.1007/s11031-004-2389-x>
- Hilbert, S., Nakagawa, T. T., Puci, P., Zech, A., & Bühner, M. (2014). The Digit Span Backwards Task. *European Journal of Psychological Assessment*, 31(3), 174–180.
<https://doi.org/10.1027/1015-5759/a000223>
- Ho, C., & Spence, C. (2005). Olfactory facilitation of dual-task performance. *Neuroscience Letters*, 389(1), 35–40. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2005.07.003>
- Hodges, D. A., Hairston, W. D., & Burdette, J. H. (2005). Aspects of multisensory perception: The integration of visual and auditory information in musical experiences. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1060(1), 175–185. <https://doi.org/10.1196/annals.1360.012>
- Homack, S., & Riccio, C. A. (2006). Conners' Continuous Performance Test (2nd ed.; CCPT-II). *Journal of Attention Disorders*, 9(3), 556–558.
- Howard, S., & Hughes, B. M. (2008). Expectancies, not aroma, explain impact of lavender aromatherapy on psychophysiological indices of relaxation in young healthy women. *British Journal of Health Psychology*, 13(4), 603–617. <https://doi.org/10.1348/135910707X238734>
- Huang, M., & Chen, C. (2023). The effects of olfactory cues as interface notifications on a mobile phone. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 17(1), 21–32. <https://doi.org/10.1007/s12193-022-00399-x>

- Huang, R. H., & Shih, Y. N. (2011). Effects of background music on concentration of workers. *Work*, 38(4), 383–387. <https://doi.org/10.3233/WOR-2011-1141>
- Hudson, R. (1999). From molecule to mind: The role of experience in shaping olfactory function. *Journal of Comparative Physiology A: Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, 185(4), 297–304. <https://doi.org/10.1007/s003590050390>
- Hugenschmidt, C. E., Peiffer, A. M., McCoy, T. P., Hayasaka, S., & Laurienti, P. J. (2009). Preservation of crossmodal selective attention in healthy aging. *Experimental Brain Research*, 198(2–3), 273–285. <https://doi.org/10.1007/s00221-009-1816-3>
- Hummel, T., Kobal, G., Gudziol, H., & Mackay-Sim, A. (2007). Normative data for the “Sniffin” Sticks” including tests of odor identification, odor discrimination, and olfactory thresholds: An upgrade based on a group of more than 3,000 subjects.” *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 264(3), 237–243. <https://doi.org/10.1007/s00405-006-0173-0>
- Hummel, T., Sekinger, B., Wolf, S. R., Pauli, E., & Kobal, G. (1997). ‘Sniffin’ Sticks’: Olfactory Performance Assessed by the Combined Testing of Odour Identification, Odor Discrimination and Olfactory Threshold. *Chemical Senses*, 22(1), 39–52. <https://doi.org/10.1093/chemse/22.1.39>
- Huron, D. (2006). *Sweet anticipation: music and the psychology of expectation*. MIT Press books.
- Husain, G., Thompson, W. F., & Schellenberg, E. G. (2002). Effects of musical tempo and mode on arousal, mood, and spatial abilities. *Music Perception*, 20(2), 151–171. <https://doi.org/10.1525/mp.2002.20.2.151>
- Hutmacher, F. (2019). Why is there so much more research on vision than on any other sensory modality? *Frontiers in Psychology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02246>
- Ito, T. A., Friedman, N. P., Bartholow, B. D., Correll, J., Loersch, C., Altamirano, L. J., & Miyake, A. (2015). Toward a comprehensive understanding of executive cognitive function in implicit racial bias. *Journal of Personality and Social Psychology*, 108(2), 187–218. <https://doi.org/10.1037/a0038557.supp>
- Iwanaga, M., & Ito, T. (2002). Disturbance effect of music on processing of verbal and spatial memories. *Perceptual and Motor Skills*, 94(3_suppl), 1251–1258. <https://doi.org/10.2466/pms.2002.94.3c.1251>
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Perrig, W. J., & Meier, B. (2010a). The concurrent validity of the N-back task as a working memory measure. *Memory*, 18(4), 394–412. <https://doi.org/10.1080/09658211003702171>
- Jaeggi, S. M., Studer-Luethi, B., Buschkuhl, M., Su, Y.-F., Jonides, J., & Perrig, W. J. (2010b). The relationship between n-back performance and matrix reasoning — implications for training and transfer. *Intelligence*, 38(6), 625–635. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2010.09.001>
- Jafari, M., & Ansari-Pour, N. (2019). Why, When and How to Adjust Your P Values? *Cell Journal*, 20(4), 604–607. <https://doi.org/10.22074/cellj.2019.5992>
- Jakubowski, K., & Ghosh, A. (2021). Music-evoked autobiographical memories in everyday life. *Psychology of Music*, 49(3), 649–666. <https://doi.org/10.1177/0305735619888803>
- Jansari, A. S., Devlin, A., Agnew, R., Akesson, K., Murphy, L., & Leadbetter, T. (2014). Ecological assessment of executive functions: A new virtual reality paradigm. *Brain Impairment*, 15(2), 71–87. <https://doi.org/10.1017/BrImp.2014.14>
- Jellinek, J. S. (1997). Psychodynamic odor effects and their mechanisms. *Perfumer & Flavorist*, 22(5), 29–41.
- Jellinek, J. S. (2004). Proust remembered: Has Proust’s account of odor-cued autobiographical memory recall really been investigated? *Chemical Senses*, 29(5), 455–458. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjh043>

- Johansson, R., Holmqvist, K., Mossberg, F., & Lindgren, M. (2012). Eye movements and reading comprehension while listening to preferred and non-preferred study music. *Psychology of Music*, 40(3), 339–356. <https://doi.org/10.1177/0305735610387777>
- Johnson, A. J. (2011). Cognitive facilitation following intentional odor exposure. *Sensors*, 11(5), 5469–5488. <https://doi.org/10.3390/s110505469>
- Johnson, W., Logie, R. H., & Brockmole, J. R. (2010). Working memory tasks differ in factor structure across age cohorts: Implications for dedifferentiation. *Intelligence*, 38(5), 513–528. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2010.06.005>
- Jones, D. (1999). The cognitive psychology of auditory distraction: The 1997 BPS Broadbent Lecture. *British Journal of Psychology*, 90(2), 167–187. <https://doi.org/10.1348/000712699161314>
- Jones, S. A., & Noppeney, U. (2021). Ageing and multisensory integration: A review of the evidence, and a computational perspective. *Cortex*, 138, 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2021.02.001>
- Juratli, J. H., Garefis, K., Konstantinidis, I., & Hummel, T. (2023). Trigeminal function in patients with COVID-associated olfactory loss. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*. <https://doi.org/10.1007/s00405-023-08391-1>
- Juslin, P. N., & Sloboda, J. A. (2010). *Handbook of music and emotion : Theory, research, applications*. Oxford University Press.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort* (Vol. 1063). Prentice-Hall.
- Kämpfe, J., Sedlmeier, P., & Renkewitz, F. (2011). The impact of background music on adult listeners: A meta-analysis. *Psychology of Music*, 39(4), 424–448. <https://doi.org/10.1177/0305735610376261>
- Kane, M. J., Conway, A. R. A., Miura, T. K., & Colflesh, G. J. H. (2007). Working memory, attention control, and the N-Back Task: A question of construct validity. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 33(3), 615–622. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.33.3.615>
- Karageorghis, C., & Terry, P. (2010). *Inside Sport Psychology*. Human Kinetics.
- Karr, J. E., Areshenkoff, C. N., Rast, P., Hofer, S. M., Iverson, G. L., & Garcia-Barrera, M. A. (2018). The unity and diversity of executive functions: A systematic review and re-analysis of latent variable studies. *Psychological Bulletin*, 144(11), 1147–1185.
- Kassambara, A. (2021). *rstatix: Pipe-friendly framework for basic statistical tests*. R Package Version 0.7.0. <https://CRAN.R-project.org/package=rstatix>
- Kassambara, A. (2023). *Pipe-friendly framework for basic statistical tests (0.7.2)*. <https://rpkgs.datanovia.com/rstatix/>
- Katotomichelakis, M., Balatsouras, D., Tripsianis, G., Davris, S., Maroudias, N., Danielides, V., & Simopoulos, C. (2007). The effect of smoking on the olfactory function. *Rhinology*, 45(4), 274–280.
- Keil, A., & Freund, A. M. (2009). Changes in the sensitivity to appetitive and aversive arousal across adulthood. *Psychology and Aging*, 24(3), 668–680. <https://doi.org/10.1037/a0016969>
- Kiss, L., & Linnell, K. J. (2021). The effect of preferred background music on task-focus in sustained attention. *Psychological Research*, 85(6), 2313–2325. <https://doi.org/10.1007/s00426-020-01400-6>
- Kiss, L., & Linnell, K. J. (2023). Reasons for participating in musical activities and their relationship with well-being during and before Covid-19. *Psychology of Music*, 51(3), 1013–1025. <https://doi.org/10.1177/03057356221124034>
- Kobal, G., Hummel, T., Sekinger, B., Barz, S., Roscher, S., & Wolf, S. (1996). “Sniffin” sticks”: screening of olfactory performance.” *Rhinology*, 34(4), 222–226.

- Kontaris, I., East, B. S., & Wilson, D. A. (2020). Behavioral and neurobiological convergence of odor, mood and emotion: A review. *Frontiers in Behavioral Neuroscience, 14*.
<https://doi.org/10.3389/fnbeh.2020.00035>
- Kostka, J. K., & Bitzenhofer, S. H. (2022). How the sense of smell influences cognition throughout life. *Neuroforum, 28*(3), 177–185. <https://doi.org/10.1515/nf-2022-0007>
- Kotsopoulou, A., & Hallam, S. (2010). The perceived impact of playing music while studying: Age and cultural differences. *Educational Studies, 36*(4), 431–440.
<https://doi.org/10.1080/03055690903424774>
- Kou, S., McClelland, A., & Furnham, A. (2018). The effect of background music and noise on the cognitive test performance of Chinese introverts and extraverts. *Psychology of Music, 46*(1), 125–135. <https://doi.org/10.1177/0305735617704300>
- Krusemark, E. A., Novak, L. R., Gitelman, D. R., & Li, W. (2013). When the sense of smell meets emotion: Anxiety-state-dependent olfactory processing and neural circuitry adaptation. *The Journal of Neuroscience, 33*(39), 15324–15332. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1835-13.2013>
- Küssner, M. B. (2017). Eysenck’s theory of personality and the role of background music in cognitive task performance: A mini-review of conflicting findings and a new perspective. *Frontiers in Psychology, 8*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01991>
- Langenecker, S. A., Caveney, A. F., Giordani, B., Young, E. A., Nielson, K. A., Rapport, L. J., Bieliauskas, L. A., Mordhorst, M. J., Marcus, S., Yodkovik, N., Kerber, K., Berent, S., & Zubieta, J. K. (2007a). The sensitivity and psychometric properties of a brief computer-based cognitive screening battery in a depression clinic. *Psychiatry Research, 152*(2–3), 143–154.
<https://doi.org/10.1016/j.psychres.2006.03.019>
- Langenecker, S. A., & Nielson, K. A. (2003). Frontal recruitment during response inhibition in older adults replicated with fMRI. *NeuroImage, 20*(2), 1384–1392.
[https://doi.org/10.1016/S1053-8119\(03\)00372-0](https://doi.org/10.1016/S1053-8119(03)00372-0)
- Langenecker, S. A., Zubieta, J. K., Young, E. A., Akil, H., & Nielson, K. A. (2007b). A task to manipulate attentional load, set-shifting, and inhibitory control: Convergent validity and test-retest reliability of the Parametric Go/No-Go Test. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 29*(8), 842–853. <https://doi.org/10.1080/13803390601147611>
- Larsson, M., Finkel, D., & Pedersen, N. L. (2000). Odor identification: Influences of age, gender, cognition, and personality. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences, 55*(5), P304–P310. <https://doi.org/10.1093/geronb/55.5.P304>
- Larsson, M., Willander, J., Karlsson, K., & Arshamian, A. (2014). Olfactory LOVER: Behavioral and neural correlates of autobiographical odor memory. *Frontiers in Psychology, 5*.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00312>
- Laurienti, P. J., Burdette, J. H., Maldjian, J. A., & Wallace, M. T. (2006). Enhanced multisensory integration in older adults. *Neurobiology of Aging, 27*(8), 1155–1163.
<https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2005.05.024>
- Lavie, N. (2005). Distracted and confused? Selective attention under load. *Trends in Cognitive Sciences, 9*(2), 75–82. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.12.004>
- Lavie, N. (2010). Attention, distraction, and cognitive control under load. *Current Directions in Psychological Science, 19*(3), 143–148. <https://doi.org/10.1177/0963721410370295>
- Lehmann, J. A. M., Hamm, V., & Seufert, T. (2019). The influence of background music on learners with varying extraversion: Seductive detail or beneficial effect? *Applied Cognitive Psychology, 33*(1), 85–94. <https://doi.org/10.1002/acp.3509>
- Lehmann, J. A. M., & Seufert, T. (2017). The influence of background music on learning in the light of different theoretical perspectives and the role of working memory capacity. *Frontiers in Psychology, 8*(OCT). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01902>

- Lehmann, S., & Murray, M. M. (2005). The role of multisensory memories in unisensory object discrimination. *Cognitive Brain Research*, 24(2), 326–334. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.02.005>
- Lehrner, J., Eckersberger, C., Walla, P., Pötsch, G., & Deecke, L. (2000). Ambient odor of orange in a dental office reduces anxiety and improves mood in female patients. *Physiology & Behavior*, 71(1–2), 83–86. [https://doi.org/10.1016/S0031-9384\(00\)00308-5](https://doi.org/10.1016/S0031-9384(00)00308-5)
- Lemaire, P., & Bherer, L. (2005). *Psychologie du vieillissement: une perspective cognitive*. (P. Lemaire & L. Bherer, Eds.). De Boeck Supérieur.
- Lemire-Rodger, S., Lam, J., Viviano, J. D., Stevens, W. D., Spreng, R. N., & Turner, G. R. (2019). Inhibit, switch, and update: A within-subject fMRI investigation of executive control. *Neuropsychologia*, 132. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2019.107134>
- Lenth, R. V. (2021). *emmeans: Estimated marginal means, aka least-squares means*. (R package version 1.6.1.). <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>
- Lezak, M. (1995). *Neuropsychological assessment* (3rd ed.). Oxford University Press.
- Li, D., & Wang, X. (2021). Can ambient odors influence the recognition of emotional words? A behavioral and event-related potentials study. *Cognitive Neurodynamics*. <https://doi.org/10.1007/s11571-021-09733-7>
- Lim, W., Furnham, A., & McClelland, A. (2022). Investigating the effects of background noise and music on cognitive test performance in introverts and extraverts: A cross-cultural study. *Psychology of Music*, 50(3), 709–726. <https://doi.org/10.1177/03057356211013502>
- Lipsman, N., Kaping, D., Westendorff, S., Sankar, T., Lozano, A. M., & Womelsdorf, T. (2014). Beta coherence within human ventromedial prefrontal cortex precedes affective value choices. *NeuroImage*, 85, 769–778. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.05.104>
- Liu, H., Lafferty, J., Wasserman, L., & Wainwright, M. J. (2009). The Nonparanormal: Semiparametric Estimation of High Dimensional Undirected Graphs. In *Journal of Machine Learning Research* (Vol. 10).
- Lombion, S., Comte, A., Tatu, L., Brand, G., Moulin, T., & Millot, J. (2009). Patterns of cerebral activation during olfactory and trigeminal stimulations. *Human Brain Mapping*, 30(3), 821–828. <https://doi.org/10.1002/hbm.20548>
- Loui, P., Wu, E. H., Wessel, D. L., & Knight, R. T. (2009). A generalized mechanism for perception of pitch patterns. *The Journal of Neuroscience*, 29(2), 454–459. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4503-08.2009>
- Love, S. A., Pollick, F. E., & Petrini, K. (2012). *Effects of experience, training and expertise on multisensory perception: Investigating the link between brain and behavior* (pp. 304–320). https://doi.org/10.1007/978-3-642-34584-5_27
- Luria, A. R. (1966). *Higher cortical functions in man*. Basic Books.
- Lwin, M. O., Malik, S., & Neo, J. R. J. (2021). Effects of Scent and Scent Emission Methods: Implications on Workers' Alertness, Vigilance, and Memory under Fatigue Conditions. *Environment and Behavior*, 53(9), 987–1012. <https://doi.org/10.1177/0013916520940804>
- Maggioni, E., Cobden, R., Dmitrenko, D., & Obrist, M. (2018). Smell-O-Message. *Proceedings of the 20th ACM International Conference on Multimodal Interaction*, 45–54. <https://doi.org/10.1145/3242969.3242975>
- Maggioni, E., Cobden, R., & Obrist, M. (2019). OWidgets: A toolkit to enable smell-based experience design. *International Journal of Human Computer Studies*, 130, 248–260. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2019.06.014>
- Majid, A. (2015). Cultural factors shape olfactory language. *Trends in Cognitive Sciences*, 19(11), 629–630. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2015.06.009>

- Mammarella, N., Fairfield, B., & Cornoldi, C. (2007). Does music enhance cognitive performance in healthy older adults? The Vivaldi effect. *Aging Clinical and Experimental Research*, *19*(5), 394–399. <https://doi.org/10.1007/BF03324720>
- Mandairon, N., & Linster, C. (2009). Odor perception and olfactory bulb plasticity in adult mammals. *Journal of Neurophysiology*, *101*(5), 2204–2209. <https://doi.org/10.1152/jn.00076.2009>
- Manly, T., Hawkins, K., Evans, J., Woldt, K., & Robertson, I. H. (2002). Rehabilitation of executive function: facilitation of effective goal management on complex tasks using periodic auditory alerts. *Neuropsychologia*, *40*, 271–281. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(01\)00094-X](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(01)00094-X)
- Mansouri, F. A., Acevedo, N., Illiparampil, R., Fehring, D. J., Fitzgerald, P. B., & Jaberzadeh, S. (2017). Interactive effects of music and prefrontal cortex stimulation in modulating response inhibition. *Scientific Reports*, *7*(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18119-x>
- Maravita, A., Spence, C., & Driver, J. (2003). Multisensory integration and the body schema: close to hand and within reach. *Current Biology*, *13*(13), R531–R539. [https://doi.org/10.1016/S0960-9822\(03\)00449-4](https://doi.org/10.1016/S0960-9822(03)00449-4)
- Maseda, A., Cibeira, N., Lorenzo-López, L., González-Abraldes, I., Buján, A., de Labra, C., & Millán-Calenti, J. C. (2018). Multisensory stimulation and individualized music sessions on older adults with severe dementia: Effects on mood, behavior, and biomedical Parameters. *Journal of Alzheimer's Disease*, *63*(4), 1415–1425. <https://doi.org/10.3233/JAD-180109>
- Matsukura, H., Yoneda, T., & Ishida, H. (2013). Smelling Screen: Development and Evaluation of an Olfactory Display System for Presenting a Virtual Odor Source. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, *19*(4), 606–615. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/TVCG.2013.40>
- Matyi, M. A., & Spielberg, J. M. (2021). Differential spatial patterns of structural connectivity of amygdala nuclei with orbitofrontal cortex. *Human Brain Mapping*, *42*(5), 1391–1405. <https://doi.org/10.1002/hbm.25300>
- McAlister, C., & Schmitter-Edgecombe, M. (2013). Naturalistic assessment of executive function and everyday multitasking in healthy older adults. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, *20*(6), 735–756. <https://doi.org/10.1080/13825585.2013.781990>
- McGann, J. P. (2017). Poor human olfaction is a 19th-century myth. *Science*, *356*(6338). <https://doi.org/10.1126/science.aam7263>
- McGeorge, P., Phillips, L. H., Crawford, J. R., Garden, S. E., Sala, S. Della, Milne, A. B., Hamilton, S., & Callender, J. S. (2001). Using virtual environments in the assessment of executive dysfunction. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, *10*(4), 375–383. <https://doi.org/10.1162/1054746011470235>
- McGurk, H., & MacDonald, J. (1976). Hearing lips and seeing voices. *Nature*, *264*(5588), 746–748. <https://doi.org/10.1038/264746a0>
- Meng, Q., An, Y., & Yang, D. (2021). Effects of acoustic environment on design work performance based on multitask visual cognitive performance in office space. *Building and Environment*, *205*, 108296. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108296>
- Menon, V., & D'Esposito, M. (2022). The role of PFC networks in cognitive control and executive function. *Neuropsychopharmacology*, *47*(1), 90–103. <https://doi.org/10.1038/s41386-021-01152-w>
- Mesz, B., Gorla, N., & Zarzo, M. (2023). The music of perfume. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, *41*(2), 110–131. <https://doi.org/10.1525/mp.2023.41.2.110>
- Michael, G. A., Jacquot, L., Millot, J.-L., & Brand, G. (2003). Ambient odors modulate visual attentional capture. *Neuroscience Letters*, *352*(3), 221–225. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2003.08.068>

- Mielicki, M. K., Koppel, R. H., Valencia, G., & Wiley, J. (2018). Measuring working memory capacity with the letter–number sequencing task: Advantages of visual administration. *Applied Cognitive Psychology, 32*(6), 805–814. <https://doi.org/10.1002/acp.3468>
- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience, 24*(1), 167–202. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.24.1.167>
- Millot, J. L., Laurent, L., & Casini, L. (2016). The influence of odors on time perception. *Frontiers in Psychology, 7*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00181>
- Millot, J.-L., & Brand, G. (2001). Effects of pleasant and unpleasant ambient odors on human voice pitch. *Neuroscience Letters, 297*(1), 61–63. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(00\)01668-2](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(00)01668-2)
- Millot, J.-L., Brand, G., & Morand, N. (2002). Effects of ambient odors on reaction time in humans. *Neuroscience Letters, 322*(2), 79–82. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(02\)00092-7](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(02)00092-7)
- Miwa, T., Mori, E., Sekine, R., Kimura, Y., Kobayashi, M., Shiga, H., Tsuzuki, K., Suzuki, M., Kondo, K., Suzaki, I., Inokuchi, G., Aiba, T., Chujo, K., Yagi-Nakanishi, S., Tsukatani, T., Nakanishi, H., Nishijo, M., Inuma, Y., & Yokoyama, A. (2023). Olfactory and taste dysfunctions caused by COVID-19: A nationwide study. *Rhinology, 61*(6). <https://doi.org/10.4193/rhin23.034>
- Miyake, A., & Friedman, N. P. (2012). The nature and organization of individual differences in executive functions: Four general conclusions. *Current Directions in Psychological Science, 21*(1), 8–14. <https://doi.org/10.1177/0963721411429458>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology, 41*(1), 49–100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Mohan, A., & Thomas, E. (2020). Effect of background music and the cultural preference to music on adolescents’ task performance. *International Journal of Adolescence and Youth, 25*(1), 562–573. <https://doi.org/10.1080/02673843.2019.1689368>
- Monsell, S. (2003). Task switching. *Trends in Cognitive Sciences, 7*(3), 134–140. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(03\)00028-7](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(03)00028-7)
- Mori, F., Naghsh, F. A., & Tezuka, T. (2014). The effect of music on the level of mental concentration and its temporal change. *Proceedings of the 6th International Conference on Computer Supported Education, 1*, 34–42. <https://doi.org/10.5220/0004791100340042>
- Morris, N., & Jones, D. M. (1990). Memory updating in working memory: The role of the central executive. *British Journal of Psychology, 81*(2), 111–121. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1990.tb02349.x>
- Moskowitz, H. R., Dravnieks, A., & Klarman, L. A. (1976). Odor intensity and pleasantness for a diverse set of odorants. In *Perception & Psychophysics* (Vol. 19, Issue 2).
- Moss, A. G., Miles, C., Elsley, J. V., & Johnson, A. J. (2016). Odorant normative data for use in olfactory memory experiments: Dimension selection and analysis of individual differences. *Frontiers in Psychology, 7*(AUG). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01267>
- Moss, M., Hewitt, S., Moss, L., & Wesnes, K. (2008). Modulation of cognitive performance and mood by aromas of peppermint and ylang-ylang. *International Journal of Neuroscience, 118*(1), 59–77. <https://doi.org/10.1080/00207450601042094>
- Moss, M., Howarth, R., Wilkinson, L., & Wesnes, K. (2006). Expectancy and the aroma of Roman chamomile influence mood and cognition in healthy volunteers. *International Journal of Aromatherapy, 16*(2), 63–73. <https://doi.org/10.1016/j.ijat.2006.04.002>

- Motoki, K., Marks, L. E., & Velasco, C. (2023). Reflections on cross-modal correspondences: Current understanding and issues for future research. *Multisensory Research*, 1–23. <https://doi.org/10.1163/22134808-bja10114>
- Mountain, M. A., & Snow, W. G. (1993). Wisconsin card sorting test as a measure of frontal pathology: A review. *Clinical Neuropsychologist*, 7(1), 108–118.
- Mozolic, J. L., Hugenschmidt, C. E., Peiffer, A. M., & Laurienti, P. J. (2012). Multisensory integration and aging. In M. M. Murray & M. T. Wallace (Eds.), *The Neural Bases of Multisensory Processes*.
- Murphy, K. R., Barkley, R. A., & Bush, T. (2001). Executive functioning and olfactory identification in young adults with attention deficit-hyperactivity disorder. *Neuropsychology*, 15(2), 211–220. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.15.2.211>
- Murray, N., Qiao, Y., Lee, B., Muntean, G.-M., & Karunakar, A. K. (2013). Age and gender influence on perceived olfactory & visual media synchronization. *2013 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICME.2013.6607467>
- Naglieri, J. A., & Goldstein, S. (2014). Assessment of executive function using rating scales: Psychometric considerations. In S. Goldstein & J. A. Naglieri (Eds.), *Executive Functioning* (pp. 159–170). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8106-5_10,
- Nawaz, S., & Omigie, D. (2023). Investigating the interaction of pleasantness and arousal and the role of aesthetic emotions on episodic memory using a musical what-where-when paradigm. *Cognition and Emotion*, 37(2), 320–328. <https://doi.org/10.1080/02699931.2023.2185206>
- Neath, I. (2000). Modeling the effects of irrelevant speech on memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 7(3), 403–423. <https://doi.org/10.3758/BF03214356>
- Nemati, S., Akrami, H., Salehi, S., Esteky, H., & Moghimi, S. (2019). Lost in music: Neural signature of pleasure and its role in modulating attentional resources. *Brain Research*, 1711, 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2019.01.011>
- Neuhaus, J., & McCulloch, C. (2011). Generalized linear models. In *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics* (Vol. 3, Issue 5, pp. 407–413). <https://doi.org/10.1002/wics.175>
- Nibbe, N., & Orth, U. R. (2017). Odor in Marketing. In *Springer Handbook of Odor* (pp. 141–142). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26932-0_56
- Nielson, K. A., Langenecker, S. A., & Garavan, H. (2002). Differences in the functional neuroanatomy of inhibitory control across the adult life span. *Psychology and Aging*, 17(1), 56–71. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.17.1.56>
- Oakes, S., & North, A. C. (2006). The impact of background musical tempo and timbre congruity upon ad content recall and affective response. *Applied Cognitive Psychology*, 20(4), 505–520. <https://doi.org/10.1002/acp.1199>
- Obrist, M., Boyle, G., van Brakel, M., & Duerinck, F. (2017). Multisensory experiences & spaces. *Proceedings of the 2017 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces*, 469–472. <https://doi.org/10.1145/3132272.3135086>
- Obrist, M., Tuch, A. N., & Hornbæk, K. (2014). Opportunities for odor: Experiences with smell and implications for technology. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, 2843–2852. <https://doi.org/10.1145/2556288.2557008>
- Ochsner, K. N., & Gross, J. J. (2005). The cognitive control of emotion. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(5), 242–249. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.03.010>
- Olsen, R. B., Olsen, J., Gunner-Svensson, F., & Waldstrøm, B. (1991). Social networks and longevity : A 14 year follow-up study among elderly in Denmark. *Social Science & Medicine Volume*, 33(10), 1189–1195. [https://doi.org/10.1016/0277-9536\(91\)90235-5](https://doi.org/10.1016/0277-9536(91)90235-5)

- Paap, K. R., Anders-Jefferson, R., Zimiga, B., Mason, L., & Mikulinsky, R. (2020). Interference scores have inadequate concurrent and convergent validity: Should we stop using the flanker, Simon, and spatial Stroop tasks? *Cognitive Research: Principles and Implications*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s41235-020-0207-y>
- Paraskevopoulos, E., Kuchenbuch, A., Herholz, S. C., & Pantev, C. (2014). Multisensory integration during short-term music reading training enhances both uni- and multisensory cortical processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 26(10), 2224–2238. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00620
- Park, D. C. (2002). The basic mechanisms accounting for age-related decline in cognitive function. In D. C. Park & N. Schwarz (Eds.), *Cognitive aging: A primer* (Psychology Press, Vol. 11, pp. 3–19).
- Park, D. C., Lautenschlager, G., Hedden, T., Davidson, N. S., Smith, A. D., & Smith, P. K. (2002). Models of visuospatial and verbal memory across the adult life span. *Psychology and Aging*, 17(2), 299–320. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.17.2.299>
- Patai, E. Z., & Spiers, H. J. (2021). The versatile wayfinder: Prefrontal contributions to spatial navigation. *Trends in Cognitive Sciences*, 25(6), 520–533. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2021.02.010>
- Patel, A. D. (2010). *Music, language, and the brain*. Oxford university press.
- Patel, R., & McKinnon, B. J. (2018). Hearing loss in the elderly. *Clinics in Geriatric Medicine*, 34(2), 163–174. <https://doi.org/10.1016/j.cger.2018.01.001>
- Patston, L. L. M., & Tippett, L. J. (2011). The Effect of Background Music on Cognitive Performance in Musicians and Nonmusicians. *Music Perception*, 29(2), 173–183. <https://doi.org/10.1525/mp.2011.29.2.173>
- Peiffer, A. M., Mozolic, J. L., Hugenschmidt, C. E., & Laurienti, P. J. (2007). Age-related multisensory enhancement in a simple audiovisual detection task. *NeuroReport*, 18(10), 1077–1081. <https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e3281e72ae7>
- Perham, N., & Currie, H. (2014). Does listening to preferred music improve reading comprehension performance? *Applied Cognitive Psychology*, 28(2), 279–284. <https://doi.org/10.1002/acp.2994>
- Perham, N., & Sykora, M. (2012). Disliked music can be better for performance than liked music. *Applied Cognitive Psychology*, 26(4), 550–555. <https://doi.org/10.1002/acp.2826>
- Pessoa, L. (2009). How do emotion and motivation direct executive control? *Trends in Cognitive Sciences*, 13(4), 160–166. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2009.01.006>
- Peterson, E., & Welsh, M. C. (2014). The development of hot and cool executive functions in childhood and adolescence: Are we getting warmer? In *Handbook of Executive Functioning* (pp. 45–65). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8106-5_4
- Pichot, P., & Brun, J. P. (1984). Brief self-evaluation questionnaire for depressive, asthenic and anxious dimensions. *Annales Medico-Psychologiques*, 142(6), 862–865.
- Piesse, G. W. S. (1879). *The art of perfumery and the methods of obtaining the odours of plants*.
- Piolino, P., Chételat, G., Matuszewski, V., Landeau, B., Mézenge, F., Viader, F., de la Sayette, V., Eustache, F., & Desgranges, B. (2007). In search of autobiographical memories: A PET study in the frontal variant of frontotemporal dementia. *Neuropsychologia*, 45(12), 2730–2743. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.04.013>
- Plailly, J., Radnovich, A. J., Sabri, M., Royet, J.-P., & Kareken, D. A. (2007a). Involvement of the left anterior insula and frontopolar gyrus in odor discrimination. *Human Brain Mapping*, 28(5), 363–372. <https://doi.org/10.1002/hbm.20290>
- Plailly, J., Tillmann, B., & Royet, J. P. (2007b). The feeling of familiarity of music and odors: The same neural signature? *Cerebral Cortex*, 17(11), 2650–2658. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhl173>

- Porcherot, C., Delplanque, S., Raviot-Derrien, S., Calvé, B. Le, Chrea, C., Gaudreau, N., & Cayeux, I. (2010). How do you feel when you smell this? Optimization of a verbal measurement of odor-elicited emotions. *Food Quality and Preference*, 21(8), 938–947. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2010.03.012>
- Postal, V. & Lieury, A. (2019). Capacité de réserve et vieillissement : effet du niveau d'étude et du niveau d'activités sur le fonctionnement exécutif. *Bulletin de psychologie*, 563, 365-377. <https://doi.org/10.3917/bupsy.563.0365>
- Psyche, L., & Guetta, R. E. (2019). *The Oxford Handbook of Music and the Brain* (M. H. Thaut & D. A. Hodges, Eds.; Oxford Univ. Press). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780198804123.001.0001>
- Pursey, T., & Lomas, D. (2018). Tate Sensorium: An experiment in multisensory immersive design. *The Senses and Society*, 13(3), 354–366. <https://doi.org/10.1080/17458927.2018.1516026>
- R Core Team. (2021). *R: A language and environment for statistical computing* (4.0.5). R Foundation for Statistical Computing,. <https://www.r-project.org>
- R Core Team. (2023). *Already Tomorrow* (R version 4.3.0 (x86_64-w64-mingw32/x64 (64-bit))). R Foundation for Statistical Computing Platform.
- Rabbitt, P. (1997). Introduction: Methodologies and models in the study of executive function. In P. Rabbitt (Ed.), *Methodology Of Frontal And Executive Function* (1st ed.). Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9780203344187>
- Ramachandran, V. S., & Hubbard, E. M. (2001). Synaesthesia - A window into perception, thought and language. *Journal of Consciousness Studies*, 8(12), 3–34.
- Ransdell, S. E., & Gilroy, L. (2001). The effects of background music on word processed writing. *Computers in Human Behavior*, 17(2), 141–148. [https://doi.org/10.1016/S0747-5632\(00\)00043-1](https://doi.org/10.1016/S0747-5632(00)00043-1)
- Rasch, B., Büchel, C., Gais, S., & Born, J. (2007). Odor cues during slow-wave sleep prompt declarative memory consolidation. *Science*, 315(5817), 1426–1429. <https://doi.org/10.1126/science.1138581>
- Reaves, S., Graham, B., Grahn, J., Rabannifard, P., & Duarte, A. (2016). Turn off the music! Music impairs visual associative memory performance in older adults. *Gerontologist*, 56(3), 569–577. <https://doi.org/10.1093/geront/gnu113>
- Rekow, D., & Leleu, A. (2023). Tips from the nose: Odor-driven visual categorization in the developing human brain. In *Chemical Signals in Vertebrates 15* (pp. 361–395). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35159-4_18
- Renison, B., Ponsford, J., Testa, R., Richardson, B., & Brownfield, K. (2012). The ecological and construct validity of a newly developed measure of executive function: The Virtual Library Task. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 18(03), 440–450. <https://doi.org/10.1017/S1355617711001883>
- Rentfrow, P. J. (2012). The role of music in everyday life: Current directions in the social psychology of music. *Social and Personality Psychology Compass*, 6(5), 402–416. <https://doi.org/10.1111/j.1751-9004.2012.00434.x>
- Rey, L., Désoche, C., Thévenet, M., Garcia, S., Tillmann, B., & Plailly, J. (2023). *Characterizing emotional response to olfactory, auditory, and visual stimulations in a virtual reality environment* (pp. 159–174). https://doi.org/10.1007/978-1-0716-2934-5_13
- Rey-Mermet, A., Gade, M., & Oberauer, K. (2018). Should we stop thinking about inhibition? Searching for individual and age differences in inhibition ability. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 44(4), 501–526. <https://doi.org/10.1037/xlm0000450>

- Rizzuto, T. E., Cherry, K. E., & LeDoux, J. A. (2013). The aging process and cognitive capabilities. In J. W. Hedge & W. C. Borman (Eds.), *The Oxford handbook of work and aging* (Oxford University, pp. 236–255).
- Robbins, T. W., James, M., Owen, A. M., Sahakian, B. J., McInnes, L., & Rabbitt, P. (1994). Cambridge Neuropsychological Test Automated Battery (CANTAB): A factor analytic study of a large sample of normal elderly volunteers. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 5(5), 266–281.
- Roberts, R. J., Hager, L. D., & Heron, C. (1994). Prefrontal cognitive processes: Working memory and inhibition in the Antisaccade task. *Journal of Experimental Psychology: General*, 123(4), 374–393. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.123.4.374>
- Rogers, R. D., & Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124(2), 207–231. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.124.2.207>
- Rohe, T., & Noppeney, U. (2015). Cortical Hierarchies Perform Bayesian Causal Inference in Multisensory Perception. *PLoS Biology*, 13(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002073>
- Rotton, J. (1983). Affective and cognitive consequences of malodorous pollution. *Basic and Applied Social Psychology*, 4(2), 171–191. https://doi.org/10.1207/s15324834basps0402_5
- Rowland, B. A., Quessy, S., Stanford, T. R., & Stein, B. E. (2007). Multisensory integration shortens physiological response latencies. *The Journal of Neuroscience*, 27(22), 5879–5884. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4986-06.2007>
- Royet, J.-P., Plailly, J., Saive, A.-L., Veyrac, A., & Delon-Martin, C. (2013). The impact of expertise in olfaction. *Frontiers in Psychology*, 4. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00928>
- Rubin, D. C., Groth, E., & Goldsmith, D. J. (1984). Olfactory cuing of autobiographical memory. *The American Journal of Psychology*, 97(4), 493–507.
- Rubinstein, J. S., Meyer, D. E., & Evans, J. E. (2001). Executive control of cognitive processes in task switching. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27(4), 763–797. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.27.4.763>
- Saban, W., & Ivry, R. B. (2021). PONT: A protocol for online neuropsychological testing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 33(11), 2413–2425.
- Sabiniewicz, A., Wrage, F., & Hummel, T. (2021). The impact of cognitive and noncognitive factors on odor discrimination performance. *Journal of Sensory Studies*, 36(5). <https://doi.org/10.1111/joss.12683>
- Saive, A. L., Royet, J. P., Ravel, N., Thévenet, M., Garcia, S., & Plailly, J. (2014). A unique memory process modulated by emotion underpins successful odor recognition and episodic retrieval in humans. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 8, 203. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2014.00203>
- Sakamoto, M., Ando, H., & Tsutou, A. (2013). Comparing the effects of different individualized music interventions for elderly individuals with severe dementia. *International Psychogeriatrics*, 25(5), 775–784. <https://doi.org/10.1017/S1041610212002256>
- Salakka, I., Pitkäniemi, A., Pentikäinen, E., Saari, P., Toiviainen, P., & Särkämö, T. (2023). Emotional and musical factors combined with song-specific age predict the subjective autobiographical saliency of music in older adults. *Psychology of Music*. <https://doi.org/10.1177/03057356231186961>
- Salehinejad, M. A., Ghanavati, E., Rashid, M. H. A., & Nitsche, M. A. (2021). Hot and cold executive functions in the brain: A prefrontal-cingular network. *Brain and Neuroscience Advances*, 5, 239821282110077. <https://doi.org/10.1177/23982128211007769>
- Salimpoor, V. N., Benovoy, M., Larcher, K., Dagher, A., & Zatorre, R. J. (2011). Anatomically distinct dopamine release during anticipation and experience of peak emotion to music. *Nature Neuroscience*, 14(2), 257–264. <https://doi.org/10.1038/nn.2726>

- Salimpoor, V. N., Benovoy, M., Longo, G., Cooperstock, J. R., & Zatorre, R. J. (2009). The rewarding aspects of music listening are related to degree of emotional arousal. *PLoS ONE*, 4(10), e7487. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0007487>
- Salthouse, T. A., Atkinson, T. M., & Berish, D. E. (2003). Executive functioning as a potential mediator of age-related cognitive decline in normal adults. *Journal of Experimental Psychology: General*, 132(4), 566–594. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.132.4.566>
- Sambol, S., Suleyman, E., Scarfo, J., & Ball, M. (2023). A true reflection of executive functioning or a representation of task-specific variance? Re-evaluating the unity/diversity framework. *Acta Psychologica*, 236. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2023.103934>
- Sánchez-Cubillo, I., Periáñez, J. A., Adrover-Roig, D., Rodríguez-Sánchez, J. M., Ríos-Lago, M., Tirapu, J., & Barceló, F. (2009). Construct validity of the Trail Making Test: Role of task-switching, working memory, inhibition/interference control, and visuomotor abilities. In *Journal of the International Neuropsychological Society* (Vol. 15, Issue 3, pp. 438–450). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/S1355617709090626>
- Sathian, K., & Ramachandran, V. S. (2020). *Multisensory perception: From laboratory to clinic*. Elsevier.
- Scarratt, R. J., Heggli, O. A., Vuust, P., & Sadakata, M. (2023). Music that is used while studying and music that is used for sleep share similar musical features, genres and subgroups. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31692-8>
- Schaal, B., & Durand, K. (2012). The role of olfaction in human multisensory development. In A. J. Bremner, D. J. Lewkowicz, & C. Spence (Eds.), *Multisensory development* (pp. 29–62). Oxford University Press.
- Schaal, B., Saxton, T. K., Loos, H., Soussignan, R., & Durand, K. (2020). Olfaction scaffolds the developing human from neonate to adolescent and beyond. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 375(1800), 20190261. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0261>
- Schellenberg, E. G. (2005). Music and cognitive abilities. In *Current Directions in Psychological Science* (Vol. 14, Issue 6, pp. 317–320). <https://doi.org/10.1111/j.0963-7214.2005.00389.x>
- Schellenberg, E. G., & Hallam, S. (2005). Music listening and cognitive abilities in 10- and 11-year-olds: the blur effect. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1060, 202–209. <https://doi.org/10.1196/annals.1360.013>
- Schifferstein, H. N. J. (2006). The perceived importance of sensory modalities in product usage: A study of self-reports. *Acta Psychologica*, 121(1), 41–64. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2005.06.004>
- Schlintl, C., & Schienle, A. (2023). Reduced olfactory memory performance is associated with executive function deficits in older adults. *Experimental Aging Research*, 49(4), 347–359. <https://doi.org/10.1080/0361073X.2022.2122651>
- Schneeberger, L., Lynn, A., Scarcelli, V., & Stevenson, R. (2023). Enhanced multisensory gain in older adults may be a by-product of inverse effectiveness: Evidence from a speeded response-time task. *PsyArXiv*. <https://doi.org/https://doi.org/10.31234/osf.io/ngcu7>
- Schön, D., & François, C. (2011). Musical expertise and statistical learning of musical and linguistic structures. *Frontiers in Psychology*, 2. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00167>
- Schreuder, E., Hoeksma, M. R., Smeets, M. A. M., & Semin, G. R. (2014). The effects of odor and body posture on perceived duration. *Frontiers in Neurobotics*, 8, 6. <https://doi.org/10.3389/fnbot.2014.00006>
- Schwambergová, D., Třebická Fialová, J., & Havlíček, J. (2024). Olfactory self-inspection: Own body odour provides cues to one's health and hygiene status. *Physiology & Behavior*, 275, 114449. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2023.114449>

- Searle, S. R., Speed, F. M., & Milliken, G. A. (1980). Population marginal means in the linear model: An alternative to least squares means. *The American Statistician*, 34(4), 216–221. <https://doi.org/10.1080/00031305.1980.10483031>
- Segura, B., Baggio, H. C., Solana, E., Palacios, E. M., Vendrell, P., Bargalló, N., & Junqué, C. (2013). Neuroanatomical correlates of olfactory loss in normal aged subjects. *Behavioural Brain Research*, 246, 148–153. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2013.02.025>
- Seo, H. S., & Hummel, T. (2011). Auditory-olfactory integration: Congruent or pleasant sounds amplify odor pleasantness. *Chemical Senses*, 36(3), 301–309. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjq129>
- Seo, H.-S., Lohse, F., Luckett, C. R., & Hummel, T. (2014). Congruent sound can modulate odor pleasantness. *Chemical Senses*, 39(3), 215–228. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjt070>
- Shallice, T. (1982). Specific impairments of planning. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 298(1089), 199–209. <https://doi.org/10.1098/rstb.1982.0082>
- Shallice, T. (1988). *From neuropsychology to mental structure* (T. Shallice, Ed.). Cambridge University Press.
- Shallice, T., & Burgess, P. W. (1991). Deficits in strategy application following frontal lobe damage brain in man. *Brain*, 114, 727–741. <https://doi.org/10.1093/brain/114.2.727>
- Shams, L., & Beierholm, U. (2011). Humans’ multisensory perception, from integration to segregation, follows Bayesian inference. In J. Trommershauser, K. Kording, & M. S. Landy (Eds.), *Sensory cue integration* (p. 251). Oxford University Press.
- Shih, Y. N., Huang, R. H., & Chiang, H. Y. (2012). Background music: Effects on attention performance. *Work*, 42(4), 573–578. <https://doi.org/10.3233/WOR-2012-1410>
- ShIPLEY, W. C. (1940). A Self-Administering Scale for Measuring Intellectual Impairment and Deterioration. *Journal of Psychology: Interdisciplinary and Applied*, 9(2), 371–377. <https://doi.org/10.1080/00223980.1940.9917704>
- Simon, J., & Wolf, J. D. (1963). Choice reaction time as a function of angular stimulus-response correspondence and age. *Ergonomics*, 6(1), 99–105. <https://doi.org/10.1080/00140136308930679>
- Sohrabi, H. R., Bates, K. A., Weinborn, M. G., Johnston, A. N. B., Bahramian, A., Taddei, K., Laws, S. M., Rodrigues, M., Morici, M., Howard, M., Martins, G., Mackay-Sim, A., Gandy, S. E., & Martins, R. N. (2012). Olfactory discrimination predicts cognitive decline among community-dwelling older adults. *Translational Psychiatry*, 2(5), e118–e118. <https://doi.org/10.1038/tp.2012.43>
- Solla, P., Masala, C., Ercoli, T., Frau, C., Bagella, C., Pinna, I., Loy, F., & Defazio, G. (2023). Olfactory impairment correlates with executive functions disorders and other specific cognitive dysfunctions in Parkinson’s disease. *Biology*, 12(1), 112. <https://doi.org/10.3390/biology12010112>
- Sorokowska, A., Schriever, V. A., Gudziol, V., Hummel, C., Hähner, A., Iannilli, E., Sinding, C., Aziz, M., Seo, H. S., Negoias, S., & Hummel, T. (2015). Changes of olfactory abilities in relation to age: Odor identification in more than 1400 people aged 4 to 80 years. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 272(8), 1937–1944. <https://doi.org/10.1007/s00405-014-3263-4>
- Sorokowski, P., Karwowski, M., Misiak, M., Marczak, M. K., Dziekan, M., Hummel, T., & Sorokowska, A. (2019). Sex differences in human olfaction: A meta-analysis. *Frontiers in Psychology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00242>
- Spence, C. (2015). Leading the consumer by the nose: On the commercialization of olfactory design for the food and beverage sector. *Flavour*, 4(1), 31. <https://doi.org/10.1186/s13411-015-0041-1>

- Spence, C. (2020a). Olfactory-colour crossmodal correspondences in art, science, and design. In *Cognitive Research: Principles and Implications* (Vol. 5, Issue 1). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1186/s41235-020-00246-1>
- Spence, C. (2020b). Scent and the cinema. *I-Perception*, *11*(6), 204166952096971. <https://doi.org/10.1177/2041669520969710>
- Spence, C. (2020c). Senses of place: architectural design for the multisensory mind. In *Cognitive Research: Principles and Implications* (Vol. 5, Issue 1). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1186/s41235-020-00243-4>
- Spence, C. (2020d). Using Ambient Scent to Enhance Well-Being in the Multisensory Built Environment. In *Frontiers in Psychology* (Vol. 11). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.598859>
- Spence, C. (2021a). Musical scents: On the surprising absence of scented musical/auditory events, entertainments, and experiences. *I-Perception*, *12*(5), 204166952110387. <https://doi.org/10.1177/20416695211038747>
- Spence, C. (2021b). Scent in the context of live performance. *I-Perception*, *12*(1), 204166952098553. <https://doi.org/10.1177/2041669520985537>
- Spence, C. (2022). Sensehacking the guest's multisensory hotel experience. *Frontiers in Psychology*, *13*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1014818>
- Spence, C. (2023). Multisensory feature integration. In A. Mroczko-Wrasowicz & R. Grush (Eds.), *Sensory individuals: Unimodal and multimodal perspectives*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/978018866305.001.0001>
- Spence, C., & Frings, C. (2020). Multisensory feature integration in (and out) of the focus of spatial attention. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *82*(1), 363–376. <https://doi.org/10.3758/s13414-019-01813-5>
- Spence, C., Levitan, C. A., Shankar, M. U., & Zampini, M. (2010). Does food color influence taste and flavor perception in humans? In *Chemosensory Perception* (Vol. 3, Issue 1, pp. 68–84). <https://doi.org/10.1007/s12078-010-9067-z>
- Spence, C., Obrist, M., Velasco, C., & Norwegian, B. I. (2017). Digitizing the chemical senses: Possibilities & pitfalls. *International Journal of Human-Computer Studies*, *107*, 62–74. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2017.06.003>
- Stein, B. E., & Meredith, M. A. (1993). *The merging of the senses*. MIT press.
- Stein, B. E., & Stanford, T. R. (2008). Multisensory integration: Current issues from the perspective of the single neuron. In *Nature Reviews Neuroscience* (Vol. 9, Issue 4, pp. 255–266). <https://doi.org/10.1038/nrn2331>
- Strelnikov, K., Rosito, M., & Barone, P. (2011). Effect of audiovisual training on monaural spatial hearing in horizontal plane. *PLoS ONE*, *6*(3), e18344. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018344>
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, *18*(6), 643–662.
- Stuss, D. T. (2011). Functions of the frontal lobes: Relation to executive functions. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *17*(5), 759–765. <https://doi.org/10.1017/S1355617711000695>
- Teller, C., & Dennis, C. (2012). The effect of ambient scent on consumers' perception, emotions and behaviour: A critical review. *Journal of Marketing Management*, *28*(1–2), 14–36. <https://doi.org/10.1080/0267257X.2011.560719>
- The International Federation of the Phonographic Industry. (2018). *Music Consumer Insight Report*. <https://www.ifpi.org/ifpi-releases-2018-music-consumer-insight-report/>
- The International Federation of the Phonographic Industry. (2021). *Engaging with music 2021*. <https://www.ifpi.org/wp-content/uploads/2021/10/IFPI-Engaging-with-Music-report.pdf>

- Thomas-Danguin, T., Rouby, C., Sicard, G., Vigouroux, M., Farget, V., Johanson, A., Bengtson, A., Hall, G., Ormel, W., De Graaf, C., Rousseau, F., & Dumont, J.-P. (2003). Development of the ETOC: a European test of olfactory capabilities. *Rhinology*, *41*(3), 142–151. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14579654>
- Thompson, W. F., Glenn Schellenberg, E., & Husain, G. (2001). Arousal, mood and the Mozart Effect. *Psychological Science*, *12*(3), 248–251.
- Tiffin, J. (1968). *Purdue Pegboard Examiner's Manual*. IL: London House.
- Titov, N., & Knight, R. G. (2005). A computer-based procedure for assessing functional cognitive skills in patients with neurological injuries: The virtual street. *Brain Injury*, *19*(5), 315–322. <https://doi.org/10.1080/02699050400013725>
- Toet, A., Eijnsman, S., Liu, Y., Donker, S., Kaneko, D., Brouwer, A. M., & van Erp, J. B. F. (2020). The relation between valence and arousal in subjective odor experience. *Chemosensory Perception*, *13*(2), 141–151. <https://doi.org/10.1007/s12078-019-09275-7>
- Toffolo, M. B. J., Smeets, M. A. M., & van den Hout, M. A. (2012). Proust revisited: Odours as triggers of aversive memories. *Cognition & Emotion*, *26*(1), 83–92. <https://doi.org/10.1080/02699931.2011.555475>
- Treisman, A. (1986). Features and Objects in Visual Processing. *Scientific American*, *255*(5), 114B – 125. <https://www.jstor.org/stable/24976089>
- UN (United Nations Department of Economic United Affairs Social Population Division). (2020). *World Population Ageing 2019*. [https://doi.org/\(ST/ESA/SER.A/444\)](https://doi.org/(ST/ESA/SER.A/444))
- Unsworth, N., Heitz, R. P., Schrock, J. C., & Engle, R. W. (2005). An automated version of the operation span task. *Behavior Research Methods*, *37*(3), 498–505. <https://doi.org/10.3758/BF03192720>
- Valevicius, D., Lépine Lopez, A., Diushekeeva, A., Lee, A. C., & Roy, M. (2023). Emotional responses to favorite and relaxing music predict music-induced hypoalgesia. *Frontiers in Pain Research*, *4*. <https://doi.org/10.3389/fpain.2023.1210572>
- van Bergen, R. S., & Jehee, J. F. M. (2019). Probabilistic representation in human visual cortex reflects uncertainty in serial decisions. *The Journal of Neuroscience*, *39*(41), 8164–8176. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3212-18.2019>
- van den Bosch, I., Salimpoor, V. N., & Zatorre, R. J. (2013). Familiarity mediates the relationship between emotional arousal and pleasure during music listening. *Frontiers in Human Neuroscience*, *SEP*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00534>
- van Goethem, A., & Sloboda, J. (2011). The functions of music for affect regulation. *Musicae Scientiae*, *15*(2), 208–228. <https://doi.org/10.1177/1029864911401174>
- Vaughan, D. N., & Jackson, G. D. (2014). The piriform cortex and human focal epilepsy. *Frontiers in Neurology*, *5*. <https://doi.org/10.3389/fneur.2014.00259>
- Velasco, C., Balboa, D., Marmolejo-Ramos, F., & Spence, C. (2014). Crossmodal effect of music and odor pleasantness on olfactory quality perception. *Frontiers in Psychology*, *5*(NOV). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01352>
- Velasco, C., & Obrist, M. (2020). *Multisensory Experiences*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198849629.001.0001>
- Velasco, C., & Spence, C. (2022). Capitalizing on the crossmodal correspondences between audition and olfaction in the design of multisensory experiences. In N. Pomirleanu, B. John-Mariadoss, & J. Schibrowsky (Eds.), *Experiential marketing in an age of hyper-connectivity: Navigating the customer experience journey* (pp. 85–112). Cambridge Scholars Publishing.
- Verbruggen, F., & Logan, G. D. (2008). Response inhibition in the stop-signal paradigm. *Trends in Cognitive Sciences*, *12*(11), 418–424.

- Vi, C. T., Ablart, D., Gatti, E., Velasco, C., & Obrist, M. (2017). Not just seeing, but also feeling art: Mid-air haptic experiences integrated in a multisensory art exhibition. *International Journal of Human-Computer Studies*, *108*, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2017.06.004>
- Vieillard, S., Didierjean, A., & Maquestiaux, F. (2012). Changes in the perception and the psychological structure of musical emotions with advancing age. *Experimental Aging Research*, *38*(4), 422–441. <https://doi.org/10.1080/0361073X.2012.699371>
- Vieillard, S., Ronat, L., Baccarani, A., Schaal, B., Baudouin, J. Y., & Brochard, R. (2021). Age differences in olfactory affective responses: evidence for a positivity effect and an emotional dedifferentiation. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, *28*(4), 570–583. <https://doi.org/10.1080/13825585.2020.1799926>
- Villemure, C., Slotnick, B. M., & Bushnell, C. M. (2003). Effects of odors on pain perception: Deciphering the roles of emotion and attention. *Pain*, *106*(1), 101–108. [https://doi.org/10.1016/S0304-3959\(03\)00297-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3959(03)00297-5)
- Von Bastian, C. C., Blais, C., Brewer, G. A., Meier, M. E., Oberauer, K., Rouder, J. N., Souza, A. S., Bartsch, L. M., Conway, A. R. A., Draheim, C., Engle, R. W., Friedman, N. P., Frischkorn, G. T., Gustavson, D. E., Smeekens, B. A., Whitehead, P. S., & Wiemers, E. A. (2020). *Advancing the understanding of individual differences in attentional control: Theoretical, methodological, and analytical considerations*. <https://doi.org/10.31234/osf.io/x3b9k>
- Votruba, K. L., & Langenecker, S. A. (2013). Factor structure, construct validity, and age- and education-based normative data for the Parametric Go/No-Go Test. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *35*(2), 132–146. <https://doi.org/10.1080/13803395.2012.758239>
- Wahlstrom, D., Weiss, L. G., & Saklofske, D. H. (2016). Practical issues in WISC-V administration and scoring. In L. G. Weiss, D. H. Saklofske, J. A. Holdnack, & A. Prifitera (Eds.), *WISC-V assessment and interpretation: Scientist-practitioner perspectives* (pp. 25–62). Practical Resources for the Mental Health Professional. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404697-9.00002-9>
- Walker, A., Hopkins, C., & Surda, P. (2020). Use of Google Trends to investigate loss-of-smell-related searches during the COVID-19 outbreak. *International Forum of Allergy & Rhinology*, *10*(7), 839–847. <https://doi.org/10.1002/alr.22580>
- Wallin, N. L., Merker, B., & Brown, S. (2001). *The origins of music*. MIT press.
- Wang, Q., Chen, C., Cai, Y., Li, S., Zhao, X., Zheng, L., Zhang, H., Liu, J., Chen, C., & Xue, G. (2016). Dissociated neural substrates underlying impulsive choice and impulsive action. *NeuroImage*, *134*, 540–549. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.04.010>
- Ward, J. (2019). *The Student's Guide to Cognitive Neuroscience* (4th ed.). Routledge.
- Warm, J. S., Dember, W. N., & Parasuraman, R. (1991). Effects of olfactory stimulation on performance and stress. *Journal of the Society of Cosmetic Chemists*, *42*(3), 199–210.
- Wasylyshyn, C., Verhaeghen, P., & Sliwinski, M. J. (2011). Aging and task switching: A meta-analysis. *Psychology and Aging*, *26*(1), 15–20. [https://doi.org/10.1037/a\(X\)2WI2](https://doi.org/10.1037/a(X)2WI2)
- Wechsler, D. (1997). *Wechsler Adult Intelligence Scale –Third Edition* (3rd ed.). Psychological Corporation. <https://doi.org/10.1037/t49755-000>
- Welsh, M. C. (1991). Rule-guided behavior and self-monitoring on the tower of hanoi disk-transfer task. *Cognitive Development*, *6*(1), 59–76. [https://doi.org/10.1016/0885-2014\(91\)90006-Y](https://doi.org/10.1016/0885-2014(91)90006-Y)
- West, R. L. (1996). An application of prefrontal cortex function theory to cognitive aging. *Psychological Bulletin*, *120*(2), 272–292. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.120.2.272>
- Westervelt, H. J., Ruffolo, J. S., & Tremont, G. (2005). Assessing olfaction in the neuropsychological exam: The relationship between odor identification and cognition in older

- adults. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 20(6), 761–769.
<https://doi.org/10.1016/j.acn.2005.04.010>
- Wickham, H., Averick, M., Bryan, J., Chang, W., McGowan, L., François, R., Golemund, G., Hayes, A., Henry, L., Hester, J., Kuhn, M., Pedersen, T., Miller, E., Bache, S., Müller, K., Ooms, J., Robinson, D., Seidel, D., Spinu, V., ... Yutani, H. (2019). Welcome to the Tidyverse. *Journal of Open Source Software*, 4(43), 1686.
<https://doi.org/10.21105/joss.01686>
- Willander, J., & Larsson, M. (2006). Smell your way back to childhood: Autobiographical odor memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13(2), 240–244.
<https://doi.org/10.3758/BF03193837>
- Willander, J., & Larsson, M. (2007). Olfaction and emotion: The case of autobiographical memory. *Memory & Cognition*, 35(7), 1659–1663. <https://doi.org/10.3758/BF03193499>
- Wilson, D. A., & Stevenson, R. J. (2006). *Learning to smell: Olfactory perception from neurobiology to behavior*. JHU Press.
- Wilson, R. S., Arnold, S. E., Tang, Y., & Bennett, D. A. (2006). Odor identification and decline in different cognitive domains in old age. *Neuroepidemiology*, 26(2), 61–67.
<https://doi.org/10.1159/000090250>
- Wrzesniewski, A. (1999). Odor and affect: Individual differences in the impact of odor on liking for places, things and people. *Chemical Senses*, 24(6), 713–721.
<https://doi.org/10.1093/chemse/24.6.713>
- Wu, C. C., & Shih, Y. N. (2021). The effects of background music on the work attention performance between musicians and non-musicians. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 27(1), 201–205. <https://doi.org/10.1080/10803548.2018.1558854>
- Wylie, G., & Allport, A. (2000). Task switching and the measurement of “switch costs.” *Psychological Research*, 63, 212–233. <https://doi.org/10.1007/s004269900003>
- Yahiaoui-Doktor, M., Luck, T., Riedel-Heller, S. G., Loeffler, M., Wirkner, K., & Engel, C. (2019). Olfactory function is associated with cognitive performance: results from the population-based LIFE-Adult-Study. *Alzheimer's Research & Therapy*, 11(1), 43.
<https://doi.org/10.1186/s13195-019-0494-z>
- Yu, H., Han, P., & Hummel, T. (2024). Multisensory adaptation strategies: Decreased food sensory importance in patients with olfactory dysfunction. *Food Quality and Preference*, 114, 105081.
<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2023.105081>
- Yu, Q., Chan, C. C. H., Chau, B., & Fu, A. S. N. (2017). Motor skill experience modulates executive control for task switching. *Acta Psychologica*, 180, 88–97.
<https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2017.08.013>
- Zalla, T., Plassiart, C., Pillon, B., Grafman, J., & Sirigu, A. (2001). Action planning in a virtual context after prefrontal cortex damage. *Neuropsychologia*, 39(8), 759–770.
[https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(01\)00019-7](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(01)00019-7)
- Zanto, T. P., & Gazzaley, A. (2017). Cognitive control and the ageing brain. In Tobias Egner (Ed.), *The Wiley Handbook of Cognitive Control* (pp. 476–490). Wiley.
<https://doi.org/10.1002/9781118920497.ch27>
- Zatorre, R. J., & Salimpoor, V. N. (2013). From perception to pleasure: Music and its neural substrates. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(2), 10430–10437. <https://doi.org/10.1073/pnas.1301228110>
- Zelazo, P. D., Craik, F. I. M., & Booth, L. (2004). Executive function across the life span. *Acta Psychologica*, 115(2–3), 167–183. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2003.12.005>
- Zelazo, P. D., & Frye, D. (1998). Cognitive Complexity and Control: II. The Development of Executive Function in Childhood. *Current Directions in Psychological Science*, 7(4), 121–126.

- Zellner, D. A., Hoer, K., & Feldman, J. (2014). Labels affect both liking and preference: the better the stimuli, the bigger the preference. *Attention, Perception, and Psychophysics*, 76(8), 2189–2192. <https://doi.org/10.3758/s13414-014-0768-2>
- Zentner, M., Grandjean, D., & Scherer, K. R. (2008). Emotions evoked by the sound of music: Characterization, classification, and measurement. *Emotion*, 8(4), 494–521. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.8.4.494>
- Zhang, Y., & Herman, B. (2002). Ageing and apoptosis. *Mechanisms of Ageing and Development*, 123(4), 245–260. [https://doi.org/10.1016/S0047-6374\(01\)00349-9](https://doi.org/10.1016/S0047-6374(01)00349-9)
- Zhao, P., & Xie, J. (2022). Aging: A Global Challenge. In *Population Aging and Age-Friendly Transport in China* (Springer, pp. 25–41). https://doi.org/10.1007/978-981-19-9243-8_2
- Zhao, T., Liu, H., Roeder, K., Lafferty, J., & Wasserman, L. (2012). The huge Package for High-dimensional Undirected Graph Estimation in R HHS Public Access. In *J Mach Learn Res* (Vol. 13).
- Zhou, C., & Yamanaka, T. (2018). How does congruence of scent and music affect people's emotions. *International Journal of Affective Engineering*, 17(2), IJAE-D-17-00032. <https://doi.org/10.5057/ijae.IJAE-D-17-00032>
- Zimmerman, E., & Lahav, A. (2012). The multisensory brain and its ability to learn music. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1252(1), 179–184. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2012.06455.x>



Ecouter de la musique en travaillant, et diffuser des odeurs pour favoriser l'immersion dans une ambiance studieuse sont des comportements fréquents. Pourtant, l'influence de ces stimuli sur les ressentis de performances et les performances cognitives est encore en discussion dans la communauté scientifique. Cette absence de consensus pourrait être expliquée par l'aspect plurifactoriel des environnements multisensoriels, mais également par une méconnaissance des habitudes sensorielles d'adultes d'âges différents. Cette thèse tente de répondre à ces objectifs par le biais de 5 études expérimentales. Les habitudes musicales et olfactives pour se concentrer des adultes jeunes et âgé·e·s ont été caractérisées dans les 2 premières études, avec des différences (fréquence de diffusion, matériel utilisé, etc.) et des similitudes observées (genres musicaux et types d'odeurs préférés, etc.). Une 3^{ème} étude a mis en avant des correspondances affectives entre des stimuli sensoriels olfactifs et musicaux par les adultes jeunes et âgé·e·s. Ainsi, des listes de musiques et d'odorants catégorisés en fonction de l'agrément, de l'intensité, de la familiarité, et de la favorabilité à se concentrer ont été obtenues. Une 4^{ème} étude a permis de valider 6 formes alternatives de la PGNG (une tâche évaluant les fonctions exécutives) mobilisant les fonctions exécutives et la vitesse de traitement de l'information, et utilisées dans l'étude 5. Enfin, la 5^{ème} étude montre que la favorabilité perçue et la personnalisation des environnements sensoriels amélioreraient les performances subjectives (motivation, sentiment de compétence, concentration, etc.) et objectives (précision et variabilité des temps de réponses) des participant·e·s. L'ensemble de ces études contribue à une meilleure compréhension de l'influence des environnements sensoriels sur nos performances exécutives, et contribue à la réflexion de l'importance de la personnalisation des stimuli sensoriels dans le cadre de la performance cognitive.

Mots clés : fonctions exécutives ; musiques ; odeurs ; performances cognitives ; ressentis de performances ; personnalisation ; vieillissement ; environnements multisensoriels.

Listening to music while working and diffusing scents to encourage immersion in a studious atmosphere are common behaviors. However, the influence of these stimuli on perceived and cognitive performance is still debated among researchers. This lack of consensus could be explained by the multifactorial aspects of multisensory environments, but also by a lack of knowledge of the sensory habits of adults of different ages. This thesis attempts to give new insights into these knowledge gaps through 5 experimental studies. The musical and olfactory habits when concentrating of young and older adults were characterized in the 1st and 2nd studies, and differences (frequency of diffusion, equipment used, etc.) and similarities (preferred musical genres and types of odors, etc.) were observed. The 3rd study highlighted affective correspondences between olfactory and musical sensory stimuli among young and older adults. Thus, lists of music and olfactory molecules categorized according to pleasantness, intensity, familiarity, and favorability to concentration were obtained. The 4th study validated 6 alternative forms of the *Parametric Go/No-Go* task mobilizing executive functions and information processing speed that were used in the final study. Finally, the 5th study showed that perceived favorability and personalization of sensory environments improved participants' subjective and objective performances, but only on certain variables. Taken together, these studies contribute to a better understanding of the influence of sensory environments on our executive performances, and to the development of personalizing sensory stimuli in the context of cognitive performance.

Keywords: Executive functioning, music, odors, cognitive performances, subjective performances, personalization, elderly, multisensory environments.