

École Nationale Supérieure Louis-Lumière

Master Photographie - Promotion 2024



SYNESTHÉSIE ET PERCEPTION DES IMAGES

Comment caractériser la réponse d'un individu synesthète,
la modéliser, la simuler et la rendre accessible auprès d'un
public non synesthète ?

Mémoire de master 2

Raphaël BOURDA

Direction

Pascal MARTIN, professeur des Universités, ENS Louis-Lumière

Maïke PREIßING, psychologue, artiste synesthète

Membres du jury

Pascal MARTIN, professeur des Universités, ENS Louis-Lumière

Véronique FIGINI, maîtresse de conférences en histoire de la photographie, ENS Louis-Lumière

Alain SARLAT, professeur de sensitométrie et colorimétrie, ENS Louis-Lumière

Marc PANANCEAU, maître de conférences en neurosciences à l'Université Paris-Saclay

Maïke PREIßING, psychologue et artiste synesthète

Date de soumission : 27 mai 2024

École Nationale Supérieure Louis-Lumière

Master Photographie - Promotion 2024



SYNESTHÉSIE ET PERCEPTION DES IMAGES

Comment caractériser la réponse d'un individu synesthète,
la modéliser, la simuler et la rendre accessible auprès d'un
public non synesthète ?

Mémoire de master 2

Raphaël BOURDA

Direction

Pascal MARTIN, professeur des Universités, ENS Louis-Lumière

Maïke PREIßING, psychologue, artiste synesthète

Membres du jury

Pascal MARTIN, professeur des Universités, ENS Louis-Lumière

Véronique FIGINI, maîtresse de conférences en histoire de la photographie, ENS Louis-Lumière

Alain SARLAT, professeur de sensitométrie et colorimétrie, ENS Louis-Lumière

Marc PANANCEAU, maître de conférences en neurosciences à l'Université Paris-Saclay

Maïke PREIßING, psychologue et artiste synesthète

Date de soumission : 27 mai 2024

« Avant, je pensais être une sorte d'alien sur Terre parce que je ne perçois pas le monde comme les autres. Mais maintenant je sais de quoi il s'agit. [...]

J'ai rencontré une seule personne qui a une synesthésie du même niveau que la mienne. Nous ne nous connaissions pas avant... Nous avons parlé et pleuré. "Tu existes, c'est tellement bien".

J'ai eu la confirmation que c'était vraiment réel. »

Daniela UHL

Extrait d'entretien

REMERCIEMENTS

Ce projet de mémoire, davantage orienté vers la réception de l'image par un public singulier qu'à la création photographique, a été l'occasion de me confronter à une difficulté permanente. Celle d'étudier les perceptions singulières d'autres personnes qui me sont par nature inconnues et inaccessibles, et pour lesquelles une partie importante de la recherche scientifique est encore en cours. Aucune des pages suivantes n'aurait pu voir le jour sans le soutien de toutes celles et ceux qui m'ont suivi et aiguillé, sans les rencontres exceptionnelles que cette recherche m'a permis de faire, et sans l'engagement de nombreuses personnes.

En premier lieu, je tiens à remercier particulièrement Pascal MARTIN (professeur à l'ENS Louis-Lumière) qui a accepté de prendre la direction de ce mémoire. Il a nourri tout le fil de ma progression de conseils, d'attention, et de réponses à mes nombreuses questions. Son encadrement m'a permis d'éviter de me perdre lorsque dans diverses phases de la recherche, je naviguais à vue.

Je remercie Maike PREIBING avec la même sincérité. En tant que psychologue allemande synesthète et figure majeure dans la médiatisation des conditions de neuroatypicités, elle a pris la co-direction de ce mémoire avec beaucoup d'intérêt et de générosité et a permis d'en faire un projet international, impliquant de nombreuses personnes en Europe et dans le monde. Son implication et son engagement ont très largement dépassé le rôle d'encadrement qu'elle avait accepté en premier lieu et je lui témoigne une grande reconnaissance.

Je remercie Stéphanie SOLINAS pour l'encadrement de la Partie Pratique de Mémoire (PPM), pour ses précieux conseils et son suivi tout au long de mon étude.

Je remercie Daniela UHL, synesthète allemande, pour avoir répondu à notre recherche de profils avec tant d'intérêt et d'enthousiasme. Une partie de ce mémoire repose sur des travaux qui ont été menés avec elle et prouve la générosité de son implication. Je la remercie pour son temps, son énergie, et sa très grande contribution. J'aimerais ensuite remercier pour leur confiance, toutes les personnes qui ont répondu à notre appel et à notre recherche de profils synesthètes sur un plan international. Toutes ont grandement participé en partageant leurs expériences et leurs témoignages anonymisés qui ont

enrichi l'étude de données précieuses.

J'aimerais également remercier Anne-Lou BUZOT (professeure à l'ENS Louis-Lumière) pour l'intérêt qu'elle a pu avoir dès le départ à l'égard de mon sujet d'étude et pour les sources qu'elle a partagées avec moi et qui m'ont notamment permises de faire la rencontre de Maike PREIßING. Je remercie également Florent FAJOLE (responsable du Centre de documentation de l'ENS Louis-Lumière) pour l'aide qu'il a su m'apporter dans la structuration et l'angle d'étude aux prémices du projet, ainsi que pour toutes ses recommandations bibliographiques qui ont nourri ma réflexion.

Je remercie Charles TIJUS (professeur émérite, chercheur en sciences cognitives et ancien directeur du LUTIN¹) pour les précieux conseils qu'il m'a apportés en se rendant disponible lors de plusieurs rencontres.

Je remercie avec beaucoup de reconnaissance les équipes du laboratoire *Toulouse Neuro Imaging Center* (ToNIC), Unité Mixte de Recherche (UMR) de l'Institut National de la Santé Et de la Recherche Médicale (INSERM) et de l'Université Paul-Sabatier à Toulouse. Je remercie particulièrement Mme. Hélène GROS-DAGNAC (ingénieure de la recherche au TonIC, INSERM), Mme. Nathalie VAYSSIERE-RICHARD (ingénieure de la recherche au CNRS) et Mme. Sandrine FERRIES (manipulatrice radio au CHU de Purpan, Toulouse). Elles constituent l'équipe qui a accepté de m'ouvrir les portes du ToNIC pour réaliser des expériences basées sur l'Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle (IRMf) et qui nous a reçus avec autant de bienveillance, de générosité et d'explications que de professionnalisme. Alors qu'elles auraient pu effectuer l'ensemble des manipulations sans m'inclure dans les différentes tâches qui échappent à mon domaine d'expertise, elles ont dédié un temps conséquent à répondre à mes questions et m'expliquer divers mécanismes tout en m'invitant à prendre part aux manipulations depuis la salle de contrôle IRM.

Je remercie également le Dr. Kristiaan CLAEYS (médecin nucléaire à la Clinique Pasteur de Toulouse) ainsi que le Pr. Pierre PAYOUX (médecin, professeur des Universités en biophysique et médecine nucléaire et directeur du ToNIC) dont les recommandations m'ont permis d'entrer en contact avec les équipes du centre de recherche qui m'a reçu.

J'adresse ensuite toute ma reconnaissance et mes remerciements au Dr. Duncan CARMICHAEL (aujourd'hui professeur en psychologie à l'Université d'Edinburgh Napier en Écosse) qui a beaucoup

¹ Le LUTIN est le Laboratoire des Usages en Technologies d'Information Numérique.

contribué à la recherche liée à la synesthésie dans sa carrière. Pour ce mémoire, il a gracieusement accepté de mettre ses connaissances, son temps et son savoir-faire au profit du traitement, du nettoyage, des opérations statistiques et des analyses nécessaires à la lecture et à l'exploitation des résultats issus des acquisitions d'IRM fonctionnelles qui ont été réalisées.

Ce processus très technique ne peut pas être improvisé sans qualification très spécialisée et c'est avec beaucoup de générosité que le Dr. CARMICHAEL a accepté d'en prendre la charge sur son temps libre, malgré son emploi du temps et ses obligations professionnelles conséquentes.

Je remercie Sabrina schießl, rédactrice et productrice de télévision chez "GO! Film GmbH" pour s'être tant intéressée aux IRMf qui ont été conduits et pour les échanges que nous avons eus afin de documenter et filmer certaines phases de ma recherche. À l'occasion d'un format télévisé sur la synesthésie que le service public allemand proposera dans l'émission *3sat NANO*, son magazine dédié à la technologie, à la médecine, à la science et à la recherche, du contenu a été produit et retrace notamment les acquisitions d'imagerie médicale conduites pour cette étude.

Je remercie Jamie WANNERTON (président de l'Association britannique de la Synesthésie UKSA²) pour les conseils et les mises en relation qu'ils a pu m'offrir. Je remercie également les équipes de l'Association allemande de la Synesthésie (Deutsche Synästhesie-Gesellschaft) pour l'aide que la structure m'a apportée en médiatisant mes appels à candidatures, à la communauté synesthète allemande.

Je remercie très chaleureusement mon entourage, ma famille, mes amis, Célestine.

Leur soutien et leur confiance en moi m'ont porté tout le long. Ils ont su m'épauler, m'aider, m'aiguiller sur certaines pistes, me relire et me conseiller. Ils ont été présents pour m'accompagner dans ce parcours parfois laborieux, dans le sens positif du terme de labeur et de travail accompli, mais aussi dans le sens plus commun que nous connaissons du terme « laborieux », lors de longues journées passées à corriger des erreurs dans le code d'un programme en Python.

Je remercie aussi Helena, Zoe et Corin, des synesthètes que ce mémoire m'a permis de rencontrer et avec qui j'ai parcouru un bout de chemin à Oxford. Ce sont aujourd'hui des amis.

A toutes ces personnes, ainsi qu'aux autres qui ont pu s'intéresser et me témoigner leur encouragement au détour d'une conversation, j'adresse une nouvelle fois un grand merci.

2 UKSA sont les initiales de UK Synaesthesia Association.

RÉSUMÉ

Face à une image, les perceptions des uns et des autres peuvent être inégales, avant même que puissent différer nos analyses et nos interprétations. Si de nombreux biais perceptifs qui expliquent ces différences sont connus de tous à l'instar du daltonisme, d'autres plus rares font encore l'objet d'une recherche importante. C'est le cas de la « synesthésie », trouble neurologique non pathologique principalement caractérisé par l'association de modalités sensorielles entre elles. Cette condition neuroatypique qui entraîne de fortes différences de perception chez les personnes concernées, appelées « synesthètes », est particulièrement complexe à imaginer pour le reste du public.

Ce mémoire est une étude expérimentale destinée à mieux comprendre ce phénomène. La recherche qui y est associée est tournée vers l'élaboration d'un dispositif interactif permettant de se représenter un cas de perception synesthésique par la simulation, dans le cadre d'une visualisation d'images.

MOTS-CLÉS

Perception, Phénomène neurologique, Synesthésie, Expérimentation, Simulation interactive, Oculométrie

ABSTRACT

Facing an image, the perceptions of individuals can be unequal, even before our analyses and interpretations may differ. While many perceptual biases explaining these differences are known to all, such as color blindness, others, rarer, are still the subject of significant research. This is the case with «synesthesia,» a non-pathological neurological condition primarily characterized by the association of sensory modalities with each other. This neuroatypical condition, which results in strong differences in perception among affected individuals, called « synesthetes », is particularly challenging for the general public to imagine.

This thesis is an experimental study aimed at better understanding this phenomenon. The associated research is focused on developing an interactive device to simulate a case of synesthetic perception within the framework of image visualization.

KEYWORDS

Perception, Neurosciences, Synesthesia, Experimental, Interactive Simulation, Eyetracking

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements	4
Résumé	7
Abstract	8
Table des matières	9
Introduction	12
Avant-Propos et Définitions	13
Introduction de l'Étude	15
Partie I - La Synesthésie	17
1 - Biais perceptifs et Synesthésie	18
2 - Aspects historiques	21
3 - Campagne de recherche de profils	23
4 - « Dans la peau » des synesthètes	30
5 - Observer la synesthésie (IRM fonctionnelle)	38
5.1 - Principes de l'IRM fonctionnelle	38
5.2 - Objectif de l'expérience	40
5.3 - Sujet et Hypothèse	41
5.4 - Protocole	42
5.5 - Résultats	45
Partie II - Cas d'Étude Spécifique Synesthésie vision-son	49
1 - Recherche du dispositif	50
1.1 - Démarche expérimentale	50
1.2 - Description du dispositif	52
2 - Identification d'un profil pour la recherche	53

3 - Caractérisation des correspondances intermodales	56
4 - Simulation et développement logiciel du dispositif	58
4.1 - Principe oculométrique	58
4.2 - Calibration de l'oculomètre	61
4.3 - Systèmes de coordonnées	62
4.4 - Début du développement / Bibliothèques de développement	64
4.5 - Test de fonctionnement en temps réel	64
4.6 - Test de latence lors du traitement des données	67
4.7 - Lissage des données et stabilité du suivi	69
Partie III - Résultats & Application	71
1 - Résultats de caractérisation des correspondances intermodales	72
1.1 - Délimitation d'un périmètre d'étude	72
1.2 - Natures des correspondances intermodales	74
1.3 - Détermination des associations	76
2 - Application dans le développement de la simulation	85
2.1 - Fonctionnement des masques	85
2.2 - Restitution du code final du projet de recherche	88
2.3 - Création d'une interface	89
3 - Applications dans les Arts	92
3.1 - Porter un nouveau regard	92
3.2 - Adresser des codes à partir d'associations intermodales	96
Conclusion	99
Bibliographie	102
Table des illustrations	108
Tables des sigles et abréviations	112

Annexes	114
Sommaire des annexes	115
Anatomie de l'oeil et principes de la vision humaine	116
Guide d'entretien	118
Enquête et Sondages - Données brutes	122
Acquisitions Images par Résonance Magnétique (IRM) fonctionelles	142
Colloque International sur la Synesthésie - Oxford, Angleterre	153
Transcription d'entretien	167
Caractéristiques techniques - Oculomètre Tobii Pro Nano	181
Partie Pratique de Mémoire (PPM)	183
<i>VOXEL, "Dans les yeux de Daniela"</i>	
Présentation	185
Installation	186
Contenus	188

INTRODUCTION

AVANT-PROPOS ET DÉFINITIONS

Du grec *syn*, «avec» (union) et *aesthesis*, «sensation», le mot *synesthésie* désigne le phénomène neurologique qui implique qu'un stimulus sensoriel conduit à l'expérience automatique, systématique, involontaire et constante d'une réponse dans un second mode sensoriel. On parle également d'associations sensorielles non pathologiques.

Bien qu'il soit très difficile de recenser précisément le nombre de personnes *synesthètes*, on estime qu'environ 4% de la population¹ est concernée par ce phénomène qui peut prendre plusieurs centaines de formes différentes selon les modes sensoriels associés. Au sein de la population des *synesthètes*, certaines formes prévalent et sont plus communes que d'autres. L'association «graphème-couleur» qui relie les lettres, les mots et/ou les chiffres à des nuances colorées s'avère être la plus courante.

De façon générale, le sens déclencheur du phénomène est appelé «inducteur» tandis que celui qui est induit - et qui devient la perception additionnelle - est appelé «concurrent».

Dans la plupart des cas, la *synesthésie* est bimodale et unidirectionnelle, c'est-à-dire que le croisement se fait toujours dans le même sens. Dans de rares cas, elle peut être multimodale et bidirectionnelle : au moins trois sens sont liés et peuvent tous être inducteurs.

Il existe - en plus des différentes formes de *synesthésie* - deux catégories qui dépendent de la nature de l'expérience *synesthésique*.

Les « formes de *synesthésie* projectives » décrivent les cas pour lesquels le sens concurrent appartient à l'espace péri-personnel. Dans ce cas, la perception additionnelle est spatialisée et confondue dans l'environnement dans lequel évolue le sujet. Dans le cas d'une forme «couleur-son» projective, l'individu *synesthète* peut percevoir un son en provenance de l'objet coloré. Il peut alors être complexe de différencier les signaux sonores réellement perçus par le système auditif, des réponses induites par le cerveau.

1 - Dr. Simner et al., *Synaesthesia: The Prevalence of Atypical Cross-Modal Experiences*, 2006.

Jusqu'à 4% de la population serait concernée par la *synesthésie*. Ce chiffre est une approximation qu'il serait complexe de préciser en raison de différentes définitions de certaines formes de *synesthésie*, et des difficultés de diagnostics du côté des scientifiques et des *synesthètes* eux-mêmes.

A l'inverse, les « formes associatives » sont les expériences synesthésiques pour lesquelles la modalité sensorielle induite est perçue dans l'espace intra-personnel, aussi appelé «espace mental» ou «oeil mental». C'est dans ce plan que beaucoup d'individus non synesthètes perçoivent notamment une voix mentale décrite communément comme «la petite voix dans sa tête», lors de la lecture ou au fil de la pensée.

Dans ce cas, les réponses induites sont intériorisées et généralement plus simples à distinguer. Dans certains cas, la classification dichotomique de ces formes n'est pas toujours possible pour les synesthètes et reviendrait à faire une réduction excessive de la complexité du phénomène.

A ce jour, l'origine de la synesthésie n'est pas connue avec précision.

Il apparaît cependant que sa prévalence serait plus élevée au sein d'une même famille¹, ce qui conforte l'idée d'une base génétique, qui fait maintenant l'unanimité auprès de la communauté scientifique. Cependant, la complexité de la transmission qui serait polygénique² ne permet pas aujourd'hui aux centres de recherches d'identifier et de localiser précisément les gènes responsables de la synesthésie. Seuls des chromosomes (voire des régions chromosomiques) ont été repérés et font l'objet des recherches actuelles.³ Quoiqu'il en soit, si la synesthésie trouve ses origines dans le patrimoine génétique, la détermination de ses différentes formes échappe à ce type de transmission au sein d'une même famille.

Enfin, il est important de noter que malgré la faible prévalence de la synesthésie dans la population globale, la perception singulière des personnes concernées, la sensibilité (voire l'hypersensibilité) qui les caractérisent souvent et le regard qu'elles portent sur le monde les emmènent fréquemment à s'intéresser à diverses formes d'expression artistique. Ainsi, il n'est pas étonnant de constater une plus grande représentation des individus synesthètes chez les artistes⁴. Vassily KANDINSKI, Vincent VAN GOGH, Carol STEEN, Lady GAGA, Pharell WILLIAMS ou encore Billie ELLISH en sont de parfaits exemples qui, à travers différentes époques, ont souvent parlé de leur synesthésie dans leurs essais ou interviews.

1 - Le généticien Francis Galton met en évidence le facteur héréditaire de la synesthésie pour la première fois en 1883.

2 - Un caractère est polygénique lorsqu'il résulte, dans le développement, de l'expression combinée de plusieurs gènes.

3 - Émilie A. CASPER, Régine KOLINKSI, «Revue d'un phénomène étrange : La Synesthésie» dans L'Année Psychologique, 2013/4, Vol.113, Presses Universitaires de France, pp. 629 -666: Au sujet des gènes qui codent pour la détermination synesthésique : Tomson et al. (2011) [...] ont identifié la région 23 sur le chromosome 16. Asher et al. (2009) ont réalisé des analyses sur l'ensemble du génome, et ont observé un lien significatif sur le chromosome 2q24, ainsi que peut-être sur les chromosomes 5q33, 6p12, et 12p12.»

4 - Jacoba URIST, «Why Do So Many Artists Have Synesthesia?», dans Magazine The Cut, juillet 2016, New York Magazine

INTRODUCTION DE L'ÉTUDE

Si les recherches scientifiques actuellement menées autour de la synesthésie se concentrent essentiellement sur des questions cliniques, médicales et génétiques, étudier la synesthésie de façon pluridisciplinaire dans le prisme de la perception des images s'avère être particulièrement intéressant.

Dans l'ambition d'intégrer professionnellement le monde de l'image et de la prise de vue, ce mémoire est une opportunité de concentrer mon regard sur la diversité qui caractérise les modalités de réception du public face aux supports visuels, en procédant à une étude de cas isolé : les synesthètes possédant une forme d'association dans laquelle l'inducteur est un signal visuel, et le concurrent un signal sonore. On parle de synesthésie «vision-son».

En plus des enjeux d'inclusivité qui justifient l'intérêt de s'intéresser aux personnes dont les perceptions diffèrent de la nôtre, cette étude est motivée par une curiosité personnelle. Celle d'explorer la diversité humaine dans la réception des images avant même que puissent différer nos analyses et nos interprétations. Cette distinction est cruciale dans la compréhension des phénomènes synesthésiques. En effet, les réactions de deux personnes peuvent différer voire s'opposer dans la lecture respective d'une même image dès lors que celle-ci est interprétée. On lui attribue une symbolique, un message, on lui donne différents sens et on peut y porter un jugement. Il est important de noter que ce n'est pas dans les différences de représentation ou de cognition acquises par l'expérience et la culture que se joue cette étude, mais bien en amont, dans les phases sensorielles et perceptives.

S'il est aujourd'hui possible de se représenter et de simuler la perception d'une personne daltonienne, il n'est pas encore possible d'en faire de même avec un individu synesthète.

Comment alors caractériser une partie de la réponse d'un individu synesthète, la modéliser, la simuler et la rendre accessible auprès d'un public non synesthète ?

En d'autres termes, après une étude menée sur la synesthésie au sens large qui permettra de poser un regard sur les biais sensoriels et perceptifs, sur une recherche de ce que signifie « être

synesthète » - au contact de personnes concernées - et sur l'observation de ces phénomènes mis en évidence par l'imagerie médicale, l'objectif sera d'étudier la faisabilité d'une éventuelle externalisation de la réponse d'un synesthète «vision-son». La recherche d'une simulation qui implique la mise en place d'un dispositif interactif pertinent concrétise l'étude et constitue sa nature expérimentale.

L'ambition de la Partie Pratique de Mémoire (PPM) sera alors d'enrichir et de scénographier ce dispositif de manière à permettre à un public non synesthète de se représenter une forme isolée de synesthésie, et de proposer un aperçu qui contextualise la recherche menée.

En raison de la nature expérimentale de ce programme, une partie importante du mémoire détaillera le développement protocolaire et empirique de l'étude, de la recherche des profils de synesthètes à la proposition d'une solution interactive. La psychologie, les neurosciences, l'imagerie médicale, la programmation, l'optique et l'oculométrie sont tant de champs disciplinaires qui ont été croisés grâce à l'implication d'intervenants qui ont motivé des rencontres, des échanges et plusieurs déplacements en France et en Europe.

Un déplacement à Gunzburg en Allemagne a permis d'assurer plusieurs sessions de travail avec une personne synesthète volontaire pour collaborer à l'élaboration du dispositif.

Un autre déplacement à Oxford en Angleterre a été motivé par un colloque¹ international portant sur la synesthésie. La « UKSA/ASA World Synesthesia Conference » a ainsi rassemblé plus d'une vingtaine de pays, une cinquantaine de conférences, des tables rondes et des présentations de posters scientifiques et des prises de parole de chercheurs et chercheuses en psychologie, neurosciences et cognition, de journalistes, d'artistes, de curateurs et curatrices, en immersion dans une communauté très largement synesthète (près de 70% des 150 participants)

La grande interdisciplinarité de cette étude m'a permis d'aborder et de croiser certains domaines qui sortent de mon champ initial de compétences. Je prends le risque dans ce mémoire - et sous le contrôle de personnes expertes de ces sujets - d'explicitier certains de ces points nécessaires à mon développement. Un lecteur spécialiste me pardonnera, je l'espère, un éventuel manque de précision ou de développement technique.

1 - Le déplacement à Oxford, Angleterre en raison du colloque international sur la Synesthésie est détaillé en annexes (pages 153 à 166)

Partie 1

La Synesthésie

Biais perceptifs et Synesthésie
Aspects historiques
«Dans la peau» des synesthètes
Observer le phénomène

1 - BIAIS PERCEPTIFS ET SYNESTHÉSIE

L'utilisation et le contrôle des éléments formels qui caractérisent tout support visuel - qu'il soit photographique, cinématographique ou encore infographique - implique qu'une majorité de personnes partagent une perception relativement similaire des couleurs, des textures, et des contrastes, grâce à l'anatomie commune de notre système visuel¹, de nos yeux jusqu'au cerveau.

Cette perception partagée permet la création d'images codifiées pour susciter une émotion, véhiculer un sens ou porter un message, en se basant sur des interprétations et des cultures communes.

Si le public comprend que certaines scènes du film *JFK* réalisé par Oliver Stone (1991) font référence à des éléments passés dans l'enquête liée à l'assassinat du président américain John Fitzgerald Kennedy, c'est notamment grâce au passage de la couleur au noir et blanc dans certaines séquences. Ces éléments sont reçus de manière perceptivement similaire par les spectateurs et répondent à l'un des codes d'interprétation massivement utilisés dans le cinéma occidental : la désaturation des images du passé, ou leur aspect terne.

Il existe cependant de nombreux biais perceptifs dans la population.

Qu'ils relèvent d'un défaut visuel situé au niveau de l'oeil, ou d'un trouble relevant du cerveau, ils impliquent l'existence d'une majorité perceptive qui partage une perception similaire - telle que décrite plus haut - et un ensemble de minorités perceptives dont les modalités sensorielles diffèrent.

La plupart de ces biais sont parfaitement connus des corps médicaux et du grand public, à l'image des principaux défauts de vision qui altèrent la perception. La myopie, l'hypermétropie ou encore l'astigmatisme en sont de parfaits exemples, auxquels une réponse médicale peut être apportée par la prescription de lentilles de contact ou de lunettes de correction, voire par la réalisation d'une intervention chirurgicale, afin que les patients retrouvent une perception proche de celle des personnes appartenant à la majorité perceptive.

D'autres biais de perception des couleurs, comme la dyschromatopsie², peuvent se décliner en de nombreuses formes qui entraînent la confusion de certaines couleurs, jusqu'à

1 - Un schéma anatomique de l'oeil ainsi que le fonctionnement de la vision humaine sont détaillés en annexes, page 116.

2 - La dyschromatopsie est une anomalie de la vision des couleurs, consistant essentiellement en une diminution de la capacité de discrimination des teintes entre elles. Le daltonisme est une forme héréditaire de dyschromatopsie, mais il existe également des formes dites acquises, qui font suite à des lésions du système visuel (Dictionnaire médical de l'Académie de Médecine - version 2024).

l'achromatopsie, déficience totale des couleurs et perception visuelle en nuances de gris.

Ces phénomènes ne peuvent pas être corrigés à proprement parler mais sont suffisamment connus pour que de nombreux diagnostics et adaptations soient mis en place. C'est pour cette raison notamment que les développeurs de jeux vidéo proposent fréquemment un mode d'affichage pour un public daltonien, ou que des collectivités adaptent leurs services publics en modifiant la signalisation.

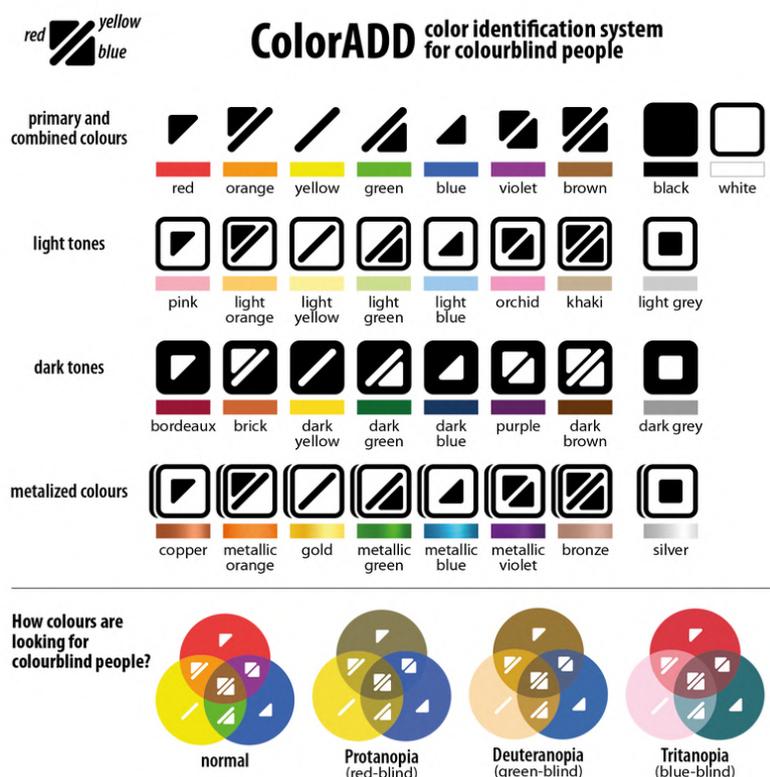


Figure 1. NEIVA Miguel : ColorADD, Système d'identification des couleurs pour les populations daltoniennes, visuel infographique, 2012.

Metro do Porto, entité responsable des transports en commun de la ville de Porto (Portugal) a opté pour la double identification de son réseau.

Le designer Miguel Neiva a associé une couleur à un pictogramme dans le cadre de ce programme, pour limiter la confusion des utilisateurs daltoniens et renforcer l'inclusivité du service, mais aussi de celui de bibliothèques et de systèmes postaux.

Ces adaptations sont possibles lorsque les biais de perception sont suffisamment connus, et lorsque les personnes non concernées par ces biais possèdent les outils nécessaires pour pouvoir se représenter la perception d'un tiers atteint d'un trouble ou d'une déficience.

L'outil Color Vision Deficiency Simulator (Simulateur de déficience de la vision des couleurs) développé par Coldblindor permet de choisir une forme de déficience et de simuler une interface perçue par un public daltonien afin de garantir une bonne lisibilité des supports

visuels pour tous. Parmi les utilisateurs de cette solution logicielle, on recense notamment Esri, leader mondial sur le marché des systèmes d'information géographique, de l'intelligence géographique et de la cartographie.



Figure 2. ESRI : Outil de simulation de la vision daltonienne dans le cadre de l'édition de cartes, captures d'écran, 2024.

Du côté de la photographie, Panasonic avait mené une campagne promotionnelle en début d'année 2020, basée sur le slogan «#RightToColour» (Droit à la Couleur). Le fabricant avait développé aux côtés du groupe indien Densu Aegis Network, un viseur d'appareil photo modifié pour compenser la déficience de perception des couleurs du photographe Hizol Choudhury, atteint de protanopie. Cette déficience se caractérise par l'inactivité partielle ou totale des protocônes, cellules sensibles à la partie rouge du spectre visible. Sur le même principe que les lunettes EnChroma produites par la société homonyme, ce nouveau viseur de Panasonic qui équipe une variante du Lumix G90 permettait au photographe de compenser son défaut de vision et d'accroître sa capacité à discriminer les nuances colorées qu'il confondait jusqu'alors.

Il existe néanmoins d'autres biais perceptifs et sensoriels pour lesquels ces adaptations ne sont pas encore envisagées. Dans le cadre de biais encore méconnus ou de phénomènes singuliers d'individu à individu, les centres de recherche sont davantage animés par les questions cliniques, médicales, génétiques et cognitives que par d'éventuelles solutions de caractérisation de ces biais à des fins d'externalisation.

C'est le cas de la synesthésie, particulièrement intéressante d'une part par sa rareté ainsi que par les singularités perceptives et sensorielles qu'elle conditionne. L'étude de ce phénomène dans le champ de la perception des images est au coeur de ce mémoire

2 - ASPECTS HISTORIQUES

D'un point de vue historique, la synesthésie est connue depuis plusieurs siècles mais a traversé une alternance de périodes favorables pour la recherche, et de périodes d'obscurantisme voire de censure.

Si déjà en 1710, le docteur Thomas Woolhouse décrivait pour l'un de ses patients, une perception des couleurs induites par le son, on considère aujourd'hui que le premier cas documenté de synesthésie¹ est une étude conduite par le médecin Georg Tobias Ludwig Sachs en 1812. Lui-même synesthète, il évoque «le croisement de plusieurs sensations» et documente ses expériences synesthésiques.

Au début du XIX^e siècle, la synesthésie est discréditée et la communauté scientifique ne s'y intéresse à nouveau que dans les années 1880, avec les avancées du généticien Francis Galton. Les recherches reprennent jusqu'au début du XX^e siècle, et connaissent un nouveau frein dans l'opinion. Durant les années de guerre en Europe, il devient même dangereux d'exprimer toute forme de neurodivergence, en raison des centaines de milliers d'assassinats opérés sous couvert d'euthanasie sur les populations atteintes de maladies psychiatriques ou de handicaps mentaux, selon les politiques des dirigeants nazis. Bien que la synesthésie ne soit pas un trouble pathologique, les manifestations de ce phénomène - aujourd'hui considéré comme un élément de neurodiversité² - pouvaient faire passer les synesthètes pour des patients atteints de maladies ou handicaps caractérisés notamment par des «hallucinations».

Lors d'un colloque international sur la synesthésie en mai 2024 à l'Université d'Oxford, le chercheur allemand Michael Haverkamp donne une conférence durant laquelle il aborde l'alternance des phases de construction du savoir puis les élans de censure. Ses recherches, axées sur les années 1925 à 1936 en Allemagne, s'illustrent par des exemples. Le professeur et artiste allemand Hugo Meier-Thur (1881-1943) est censuré par le régime nazi pour ses peintures abstraites mettant en avant des connexions entre la musique et les arts picturaux, considérées comme « Entartete Kunst » (Art Dégénéré). Il est suspendu de ses fonctions professorales en 1933 et tué dans un camp de concentration dix ans plus tard. Georg Anschütz (1886-1953)

1 - Sean A. DAY, Jörg JEWANSKI, Jamie WARD, « A colorful albino : the first documented case of synesthesia, by Georg Tobias Ludwig Sachs in 1812 », in *Journal of the History of the Neurosciences*, Vol.3, n°18, 2009, United Kingdom, Psychology Press, pp. 293-303.

2 - La neurodiversité possède plusieurs définitions scientifiques et militantes. Le symposium national de 2011 à l'Université de Syracuse définit : «[...]un concept dans lequel les différences neurologiques sont reconnues et respectées comme toute autre variation humaine». Elle oppose globalement la différence à la déficience.

était quant à lui un professeur de psychologie. En 1927, il entreprend des recherches sur la synesthésie qui prennent fin en 1936 par interdiction du régime. L'ensemble des documents de Hugo Meir-Thur et Georg Anschütz sont détruits en 1943 durant des opérations de bombardements aériens, illustrant ainsi les phases de recul qu'a connu la recherche sur la synesthésie dans l'Histoire.

A la fin du XX^e siècle, les communautés scientifiques internationales s'intéressent particulièrement à la psychologie, à la perception ainsi qu'à la cognition. La synesthésie revient progressivement dans les programmes scientifiques et anime toujours les centres de recherches aujourd'hui, notamment aux États-Unis, en Angleterre et en Allemagne.

Si pendant un temps, la définition de la synesthésie ne faisait référence qu'à des associations entre les cinq sens (l'ouïe, le toucher, le goût, la vue et l'odorat), il est aujourd'hui admis que d'autres concepts cognitifs sont fréquemment associés comme la perception des graphèmes³, la représentation du temps dans l'espace, la personnalité, et bien d'autres.

3 - Un graphème, en linguistique, est un terme qui désigne la plus petite entité d'un système d'écriture.

3 - CAMPAGNE DE RECHERCHE DE PROFILS

Lorsque l'on étudie des phénomènes dont la rareté dans la population est aussi importante, la première difficulté est d'entrer en contact avec un échantillon d'individus suffisant. L'objectif est double :

- d'une part, trouver un profil possédant une forme de synesthésie vision-son qui remplisse un certain nombre de critères basés sur la volonté de participer à une étude de simulation, sur la zone géographique de résidence, ainsi que sur la langue parlée.

- D'autre part, collecter des informations à partir des témoignages d'une population synesthète moins filtrée pour en extraire des données en quantités suffisantes. Celles-ci sont relatives à la synesthésie et ses enjeux dans la vie personnelle, sociale et sociétale des synesthètes.

Une campagne de recherche de profils synesthètes a été menée à partir d'un formulaire relayé en ligne sur les réseaux sociaux, mais aussi et surtout auprès des communautés directement concernées.

Name / Nom (obligatoire)

Prénom

Nom de famille

Birth Date / Date de Naissance (obligatoire)

jj / mm / aaaa

Email (obligatoire)

To contact you back !

City / Country (Ville / Pays)

Where do you live ?

Tell Us More About You (obligatoire)

My synesthesia form(s) include(s) a vision-to-sound association

I don't have any vision-to-sound association but I have at least one other synesthesia form.

I speak English

I speak French

I don't speak either English or French

Introduce Yourself ! (obligatoire)

What is/are you synesthesia form(s) ? How and when did you find out ? Share anything you'd like us to know !

GET IN TOUCH

Figure 3. BOURDA Raphaël : Formulaire de contact pour la recherche de profils synesthètes, capture d'écran d'un lien temporaire, 2024.

Maïke PREIßING, psychologue allemande elle-même synesthète qui assure la co-direction de ce mémoire, est également la fondatrice et animatrice du podcast en ligne « Let's Talk Synesthesia! » (« Parlons Synesthésie ! »). Dans ce cadre, elle reçoit une série d'invités qui gravitent autour des sujets artistiques, médiatiques et scientifiques liés à la synesthésie, dans le but de sensibiliser le public à la neurodiversité.

Après avoir démarré la campagne de recherche de profils synesthètes, ce média a accepté d'en assurer la médiatisation auprès de son public, en diffusant un enregistrement audio et en relayant les informations sur les réseaux sociaux associés à l'émission.

Toutes les personnes qui ont donné suite ont été redirigées vers le formulaire de contact et ont permis de sourcer une base de données. Les réponses de chaque profil entrant s'organisent ligne par ligne, dans un tableau dynamique qui permet de trier les profils répondant à un ou plusieurs critères croisés pour en extraire des groupes.

Base de données

En dépit de la longueur du panel d'individus recensés - et les lecteurs me pardonneront l'utilisation de la première personne pour incarner cette prise de position - je fais ici le choix d'intégrer la base de données au développement plutôt que de la reléguer à la partie annexe, en raison de son importance cruciale pour ce mémoire.

Les questionnaires et entretiens qui ont été réalisés avec des personnes synesthètes volontaires ont été menés sur la base d'un guide d'entretien,¹ avec la validation et les conseils de Maïke PREIßING dans sa qualité de psychologue spécialiste de la question.

41 profils synesthètes parlant français et/ou anglais ont été recensés et anonymisés dans les pages suivantes. Les nationalités allemandes et américaines - ou plutôt étasuniennes - sont particulièrement représentées, suite au relais de l'émission « Let's Talk Synesthesia » qui a redirigé son audience. La couverture géographique de l'étude reste importante avec des réponses envoyée depuis 15 pays, comme le montre la carte de répartition en page suivante.

Tous les profils recensés sont synesthètes mais seuls 10 d'entre eux possèdent une forme liant

1 - La trame du guide d'entretien est en annexes (pages 118 à 121)

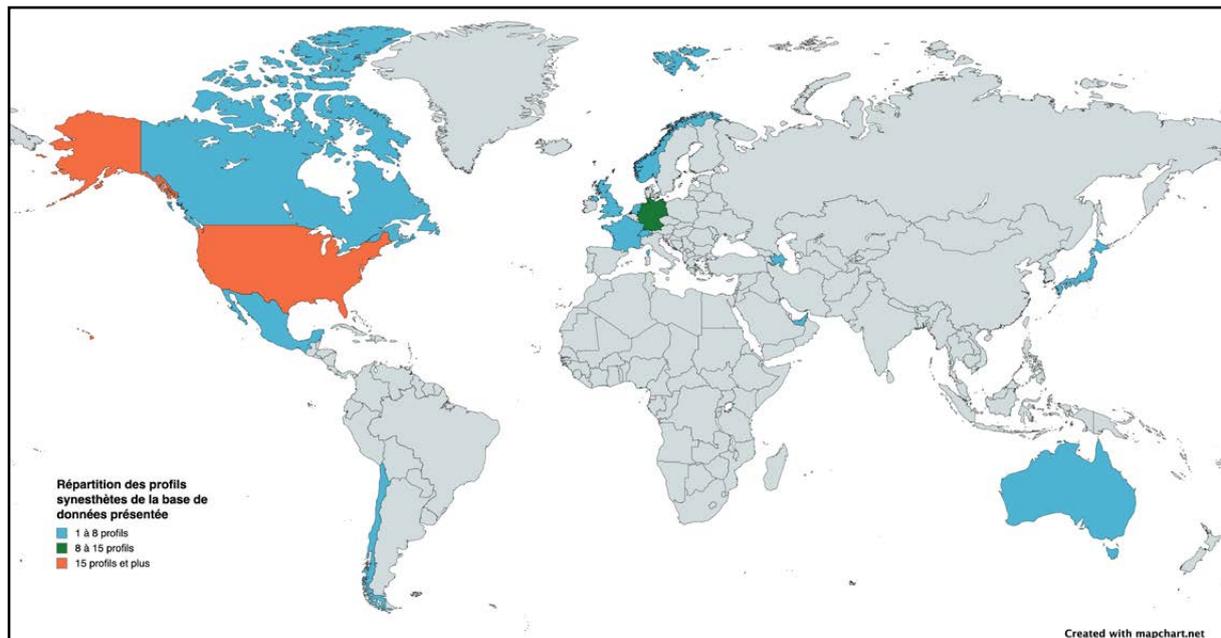


Figure 4. BOURDA Raphaël : Répartition géographique des profils synesthètes recensés (base de données), planisphère légendé, 2024.

la vue (en tant que sens inducteur) à l’ouïe (en tant que sens induit), autrement dit, une forme vision-son. Parmi ces 10, les profils vivant en Europe sont prioritaires pour faciliter d’éventuelles rencontres présentes depuis Paris. Ils sont au nombre de 6. Ces profils remplissent tous les critères de pré-sélection pour participer à la recherche d’un dispositif de simulation qui fait le coeur de ce mémoire et qui sera développé dans sa deuxième partie. Ces personnes seront invitées individuellement lors d’un entretien en visioconférence afin qu’un seul profil soit retenu pour la suite du projet.

Toutes les autres personnes de l’échantillon ont été contactées et invitées à fournir un maximum d’informations par le biais d’une interview écrite, prenant la forme d’un questionnaire en ligne. Leurs réponses permettent de mieux comprendre comment se traduit la synesthésie dans la vie d’une personne concernée.

Les quelques pages suivantes font état de cet échantillon, source intrinsèque de la recherche qui a été menée.

🏠 Location / Address	☰ Forms of Synesthesia	☰ Vision-Sound Associati...	🕒 Interview Type
🇩🇪 Germany (Marl)	Vision-to-sound, sound-to-color, smell-to-color	YES	Video Call ITW
🇳🇱 Netherlands (Breda)	Chromesthesia sound to color	None	Written ITW
🇫🇷 France	Grapheme (number) color	None	Written ITW
🇬🇧 England (Bristol)	vision to sound, orgasm to visual	YES	Video Call ITW
🇦🇺 Australia	sound to vision	None	Written ITW
🇺🇸 United States	Sound-to-color, touch and various sensations to color, smell to color, emotion to color, grapheme color, sound-to-touch, people to colors and textures. Can draw concepts or thoughts as abstracts images. Images gives a feeling in the chest that is "right" or "wrong".	None	Written ITW
🇯🇵 Japan (Yokohama)	Chromesthesia, aura synesthesia, motion to sound, color to taste, sound to color, personification of places, colored sequence	None	Written ITW
🇺🇸 USA (Tennessee)	Vision to sound	YES	Written ITW
🇩🇪 Germany (Bremen)	grapheme synesthesia, ordinal linguistic personification, spatial sequence synesthesia, vision to sound	YES	Video Call ITW
🇨🇱 Chile (Santa Cruz)	Sound to vision, shapes and textures to sound.	YES	Written ITW
🇲🇽 Ensenada (Mexico)	Not sure about the form : "I felt the urge of painting a bit of a song i liked a lot, I didn't know there was the term synesthesia at the time, but I used to paint music and I still do, I'm a plastic artist and I paint music and make analog visuals with objects and lights"	None	Written ITW
🇺🇸 USA (North Carolina)	"interprets people, places, and experiences through color"	YES	Written ITW
🇩🇪 Germany (Freiburg)	Sound to color and textures, sound to vision, grapheme color, emotion to vision, touch to vision	YES	Video Call ITW
🇺🇸 USA (Pennsylvania)	sound to visual, numerical anthropomorphization	None	Written ITW

🏠 Location / Address	☰ Forms of Synesthesia	☰ Vision-Sound Associati...	📍 Interview Type
🇺🇸 USA (Hawaii)	Grapheme color, sound to color especially voices, "words, poetry and songs can have colors too"	None	Written ITW
🇺🇸 USA (Boston)	Spatial sequence, grapheme color, sound/emotion with songs-color imagery, personality color, ...	None	Written ITW
🇺🇸 USA (Michigan)	Sound to color, emotion to color	None	Written ITW
🇺🇸 USA (New-York)	grapheme-color, timbre-color (??), pain-color, sound-spatial-motion-sound, Ordinal linguistic personification	None	Written ITW
🇺🇸 USA (North Carolina)	sound to vision (especially with music), grapheme color, pain-color, time-space, person-color, ordinal linguistic personification	None	Written ITW
🇬🇧 UK	Grapheme color	None	Written ITW
🇺🇸 USA (California)	person to color	None	Written ITW
🇺🇸 USA (New Jersey)	sound to vision, (sometimes sound-tactile)	None	Written ITW
🇬🇧 UK (Cornwall)	vision to sound (but she is not sure), feelings to colors/textures/sound, echolalia, visual sex	None	Written ITW
🇸🇬 Scotland	"I have chromothesia & grapheme synesthaesia & days of the week, numbers, years, months. I have synesthaesia for people's voices."	None	Written ITW
🇺🇸 USA (Texas)	Ordinal linguistic personification, concept shape, mathematical synesthesia	None	Written ITW
🇩🇪 Germany	I have at least 15 forms which I found out about a month ago by the support of Maike Preißing and the German Association of Synaesthesia	YES	

🏠 Location / Address	☰ Forms of Synesthesia	☰ Vision-Sound Associati...	📄 Interview Type
🇦🇪 Dubai (UAE)	Grapheme color, OLP and squent space syn.	None	Written ITW
🇨🇦 Canada (Windsor)	Music to visual, pain to visual and taste, sensation to visual, grapheme to colour, circular calendar, ticker tape, musical key is colour coded, names take on whole colours	None	Written ITW
🇩🇪 Germany (Munich)	<p>Grapheme color Ordinal linguistik personifikation (OLP) for numbers letters and objects</p> <ul style="list-style-type: none"> - Colouredhearing, sound -> colour, form, a place around me and textur - Sequenz-space, time/periode of time-> colour, Form and a place around me - for some words, not many, a lexikal gustatorisch, word -> textur, taste - feelings have colours (a few of the only colours I really see around me) - persons have colours - moves I make and parts of my body have colours (sometimes even numbers, letters and pictures) - coloured taste and coloured smell, taste-> colour, form; smell - > colour, form - Mirror touch - Ideasthesie, thoughts and constructions -> colour and form 	None	Written ITW
🇩🇪 Germany	At least 15 forms including auditory visual, OLP, Grapheme Color	None	Video Call ITW
🇺🇸 USA (Washington DC)	<p>I am a musician and composer. I create digital animations as a visual extension of the sound in my works. You can see some samples and read more about my process here https://brianfalkowski.com/introversion</p>	YES	Written ITW
🇩🇪 Germany 	several syn. with strong connection of colour-sound-emotions, ticker-tape, OLP and mirror-touch	YES	Video Call ITW

 Norway (Oslo)	"spatial geometric synesthesia for sound and taste", touch to color, "I hear visual geometry if its abstract enough".	None	Written ITW
 Canada (Montreal)	Grapheme color	None	Written ITW
 Germany (Offenburg)	Grapheme color, Sound to vision	None	Written ITW
 Switzerland (Zurich)	sound to shape ("when i hear a song, everything starts looking round : i see circles & a sort of rolling hills"	None	Written ITW
 USA (Colorado)	Mirror Touch, Auditory-tactile, Chromesthesia, Auditory-texture, Auditory-motion, Motion-tactile, Design or art or arrangement to tactile, color-tactile, ordinal linguistic personification, spacial sequence (Ticker Tape)	Not sure (need to be ask...	Written ITW
 USA (New Jersey)	"I haven't been diagnosed if there even is a diagnosis. But when I allow myself, I can hear the music of things".	Not sure (need to be ask...	Written ITW
 Azerbaijan (Baku)	sound to form/texture/color, tactile to taste, chromesthesia, mirror touch and more. She is scientist, researcher and artist. Has her own project exploring sensory experiences in art.	Not sure (need to be ask...	Written ITW
 USA (Arizona)	"I have a sound-to-visual association. More specifically electronic music to geometric shapes."	Not sure (need to be ask...	Written ITW
 France	Words - taste	None	Written ITW

Figure 5. BOURDA Raphaël : *Base de données de l'échantillon synesthète recensé et anonymisé*, captures d'écran à partir du logiciel Notion, Notion Labs Inc, 2024.

4 - « DANS LA PEAU » DES SYNESTHÈTES

Les personnes synesthètes recensées dans la base de données présentée dans les pages précédentes ont permis la collecte de données qui permettent de mieux comprendre comment la synesthésie se traduit dans leur vie. Comme attendu, les réponses qu'elles ont apportées reflètent la diversité qui caractérise les vécus et les formes de synesthésie de chacun.

De nombreux articles¹ de recherche se sont intéressés à la prévalence synesthésique chez différents groupes de personnes. Il apparaît que les personnes présentant déjà un trouble sont plus enclin à développer une forme de synesthésie que le reste de la population. Parmi eux, on retrouve notamment des troubles neurodéveloppementaux du spectre autistique, des Troubles De l'Attention et de l'Hyperactivité (TDAH), la dyslexie, l'oreille-absolue...

Dans nos résultats, cette tendance se manifeste clairement.

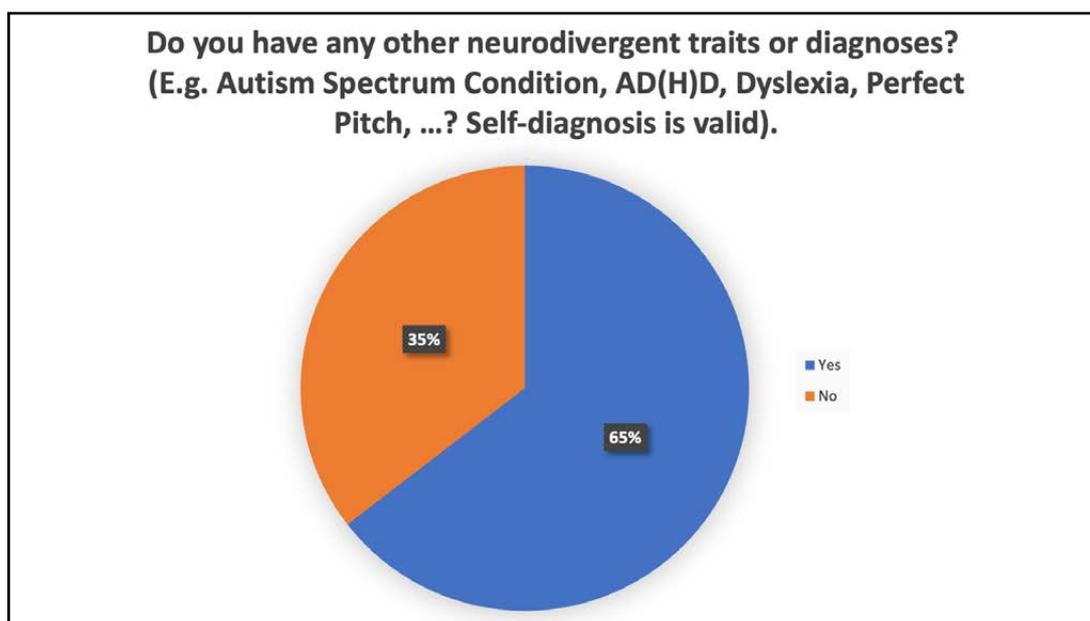


Figure 6. BOURDA Raphaël : *Diagramme issu d'enquêtes et d'analyses personnelles*, 2024.

65% des synesthètes sondés possèdent au moins un autre trouble ou trait de neurodiversité. Parmi ces 65%, les deux tiers déclarent être atteints de troubles autistiques et la moitié déclare avoir des troubles de l'attention et de l'hyperactivité, qu'ils soient diagnostiqués ou non. Certaines réponses évoquent également une hypersensibilité, une oreille absolue, ou des

1 - Simon BARON-COHEN, Donielle JOHNSON, Julian E. ASHER, Sally WHEELWRIGHT, Simon E. FISHER, Peter K. GREGERSEN, Carrie ALLISON, « Is synaesthesia more common in autism? », dans *Molecular Autism*, Novembre 2013, Vol.4, n°1, Londres, BioMed Central.
Max NUGENT, Jamie WARD, « Familial aggregation of synaesthesia with autism (but not schizophrenia) », dans *Cognitive Neuropsychiatry*, n°27, 2022, London (UK), Routledge, pp. 373-391.

troubles plus rares tels que l'hyperlexie (développement atypique des capacités de lecture) ou des Troubles Obsessionnels Compulsifs (TOC).

Questionnés sur l'âge auquel ils ont découvert qu'ils étaient synesthètes, les différents profils interrogés montrent que la synesthésie est un trouble neurologique assez tardivement repéré. La moyenne des âges indiqués par l'échantillon est de 20 ans, soit à un âge de jeune adulte. Cet âge - relativement tardif - s'explique par de multiples facteurs dont le manque de connaissances et de sensibilisations, le fait de taire certaines différences complexes en société, ou le fait de n'avoir jamais eu l'occasion de comparer sa perception avec les autres. Remet-on souvent en question ce que signifie « voir du rouge ? » ou « être triste » ? Il est facile de penser inconsciemment que la perception et les sensations que nous ressentons sont universelles.

« J'ai toujours eu conscience, aussi loin que je me souviens de ce fonctionnement interne personnel. J'ai dû comprendre vers l'âge de 6 ou 7 ans qu'il s'agissait d'une particularité qui m'était propre, et que les autres ne ressentait pas la même chose. Dès lors, c'est une chose que je n'ai partagée qu'avec ma sœur, puis plus tard, avec mon mari. De peur que cette particularité soit perçue comme une « étrangeté », voire pire, un problème. Ce n'est que récemment, à l'âge de 34 ans, que j'ai pu poser un mot, un diagnostic même sur ma petite « étrangeté » qui devenait alors une particularité. » Témoignage anonymisé.

Par ailleurs, beaucoup des personnes possédant plusieurs formes de synesthésie indiquent que la découverte de la première forme n'a pas donné lieu à la découverte simultanée des suivantes. Il se passe parfois plusieurs années avant d'en identifier une ou plusieurs autres.

« I was 25 years old when I found out I had Chromesthesia. Everything else was discovered last year, when I was 32 »

Traduction : « J'avais 25 ans quand j'ai découvert que j'avais une forme de chromesthésie (synesthésie son-couleur). J'ai découvert tout le reste l'an dernier, à l'âge de 32 ans. Témoignage anonymisé.

La rareté de la synesthésie, ses manifestations uniques ainsi que les connaissances lacunaires d'un grand nombre de personnes à ce sujet déclenchent des réactions de scepticisme fréquentes, auxquelles les synesthètes font face.

Quand vous parlez de votre synesthésie, avez-vous déjà été confronté à du scepticisme ou des a priori ?

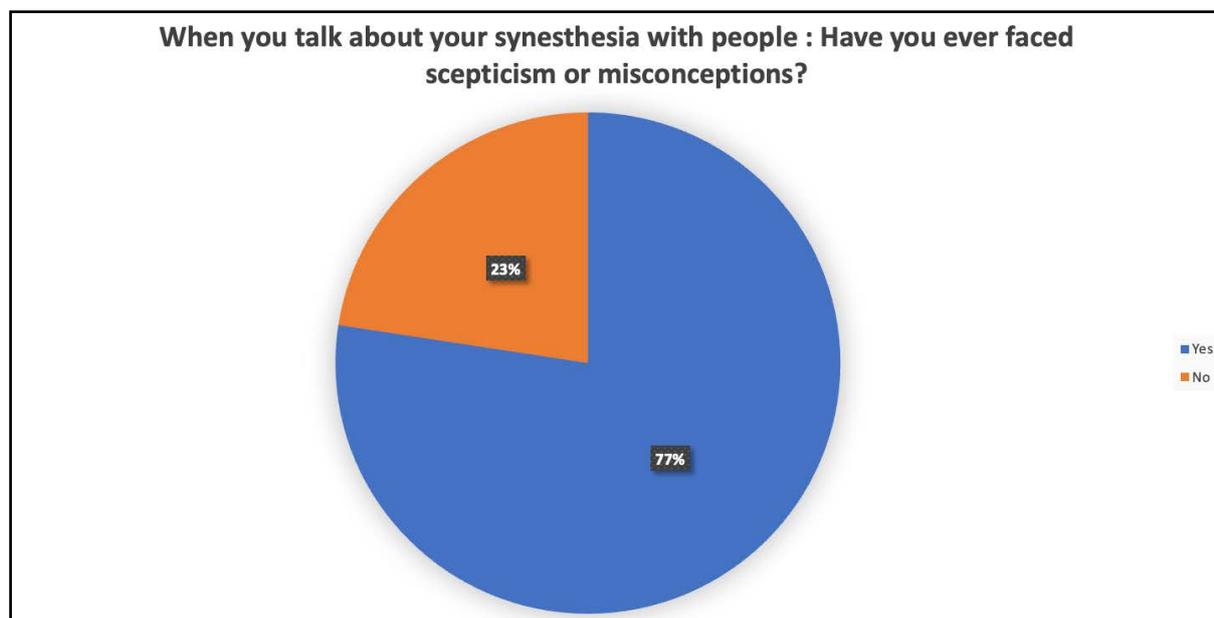


Figure 7. BOURDA Raphaël : Diagramme issu d'enquêtes et d'analyses personnelles, 2024.

La tendance est très nette dans les réponses. Plus des trois quarts des personnes déclarent avoir été déjà confrontées à des réactions de scepticisme en tout genre.

« People have told me I'm making everything up »

Traduction : « Des gens m'ont dit que j'inventais tout »

« My parents have thought I was making it up »

Traduction : « Mes parents pensaient que j'inventais »

« I've been told I'm a dreamer and I don't need drugs... »

Traduction : « On m'a dit que j'étais rêveuse et que je n'avais pas besoin de drogues... »

« [...] I tried once talking about it with a classmate and he reacted with laughing about how weird I was. My parents were at the beginning as sceptical as I was myself, because none of us knew much about synesthesia. »

Traduction : « J'ai essayé d'en parler avec un camarade et il s'est moqué de moi, disant que j'étais bizarre. Mes parents étaient sceptiques au début, comme je l'étais moi-même, parce que personne ne savait grand chose à propos de la synesthésie. »

Témoignages anonymisés.

D'après les témoignages recensés, ces réactions sceptiques entraînent régulièrement un renfermement sur soi, un sentiment d'être incompris, une certaine déception ou amertume, ou de l'indifférence dans les meilleurs cas.

« It hurts being called weird »

Traduction : « Ça fait mal d'être catégorisé bizarre »

« It's disappointing when it comes from close friends. »

Traduction : « C'est décevant quand ça vient d'amis proches. »

« I don't tell people anymore. »

Traduction : « Je ne le dis plus aux gens. »

« Surprised, a little hurt and scared at first. But also glad that I only had to experience this from people online and not from people in my close circle. »

Traduction : « Surpris, un peu blessé et apeuré au début. Mais aussi content de n'avoir été confronté à ça que sur Internet, et pas de la part de mon entourage proche »

Témoignages anonymisés.

Quelle est la meilleure réaction qu'une personne non synesthète pourrait avoir ?

« Be interested and ask questions to find out more »

Traduction : « S'intéresser et poser des questions pour en savoir plus »

« Accepting the fact and asking more if they don't fully understand »

Traduction : « Accepter et poser plus de questions si on ne comprend pas tout »

« Being approached with curiosity instead of judgement »

Traduction : « Être approché avec de la curiosité plutôt que du jugement »

Témoignages anonymisés.

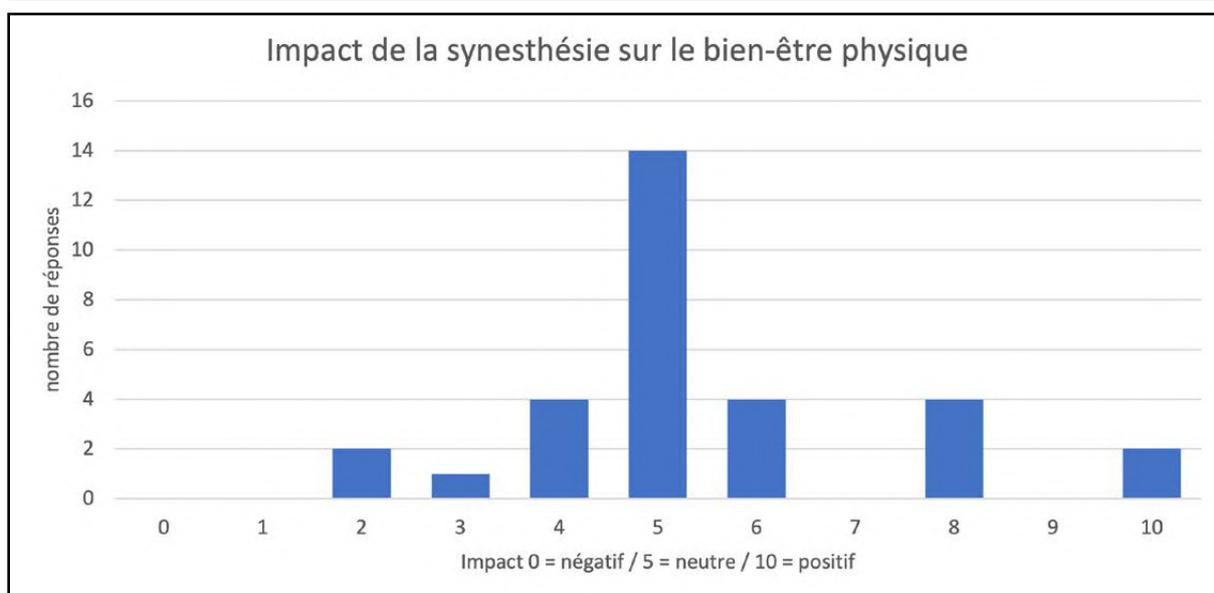
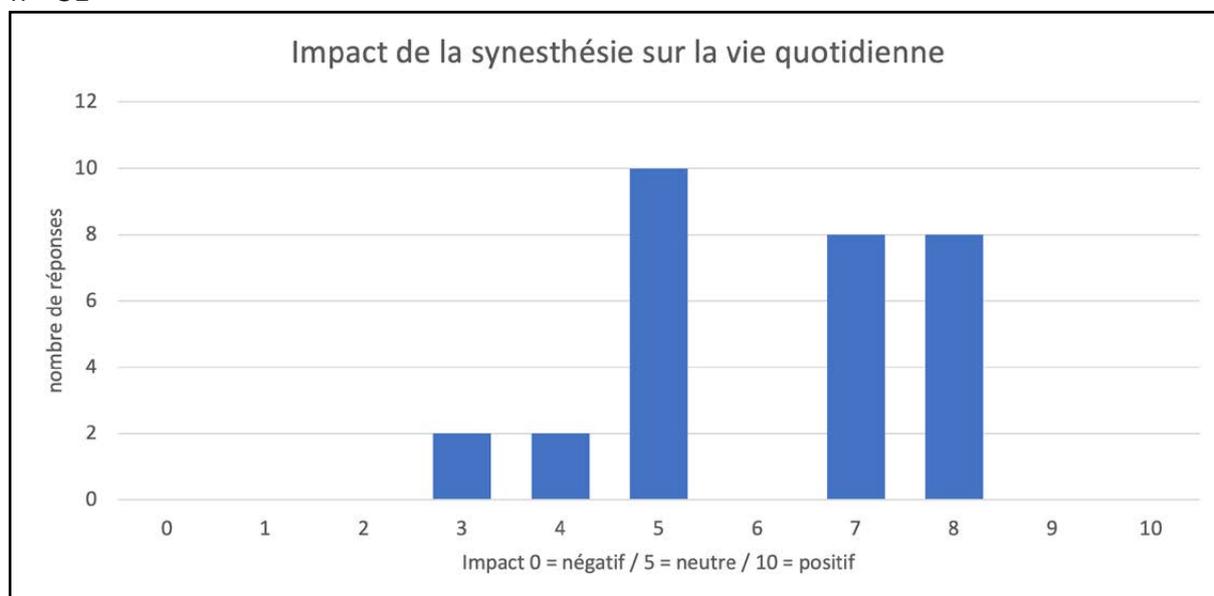
Il est possible de recommander par exemple la Foire Aux Questions (FAQ) en ligne dans laquelle le Dr. Veronica GROSS (Université de Boston) répond aux questions les plus fréquemment posées sur la synesthésie dans un but pédagogique. L'accès est répertorié dans la bibliographie.

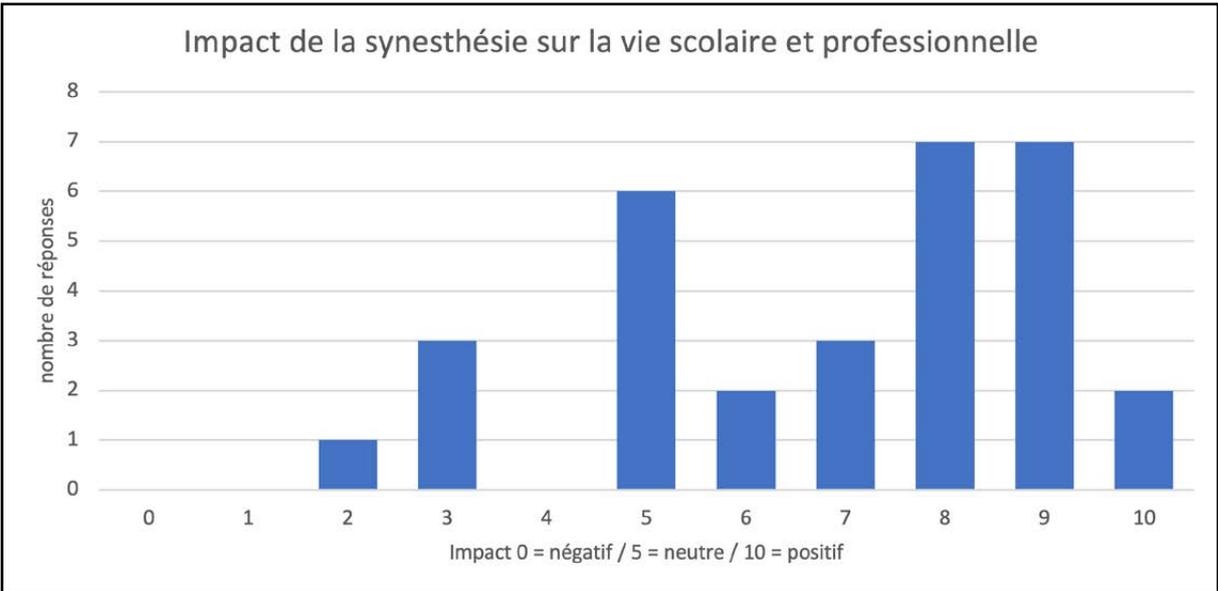
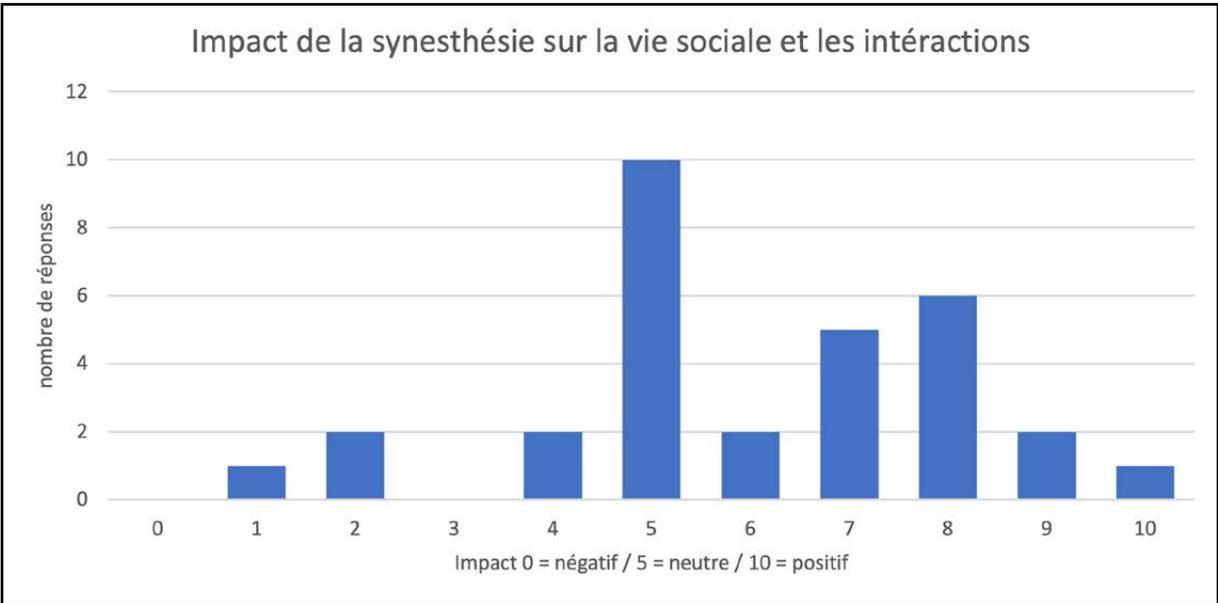
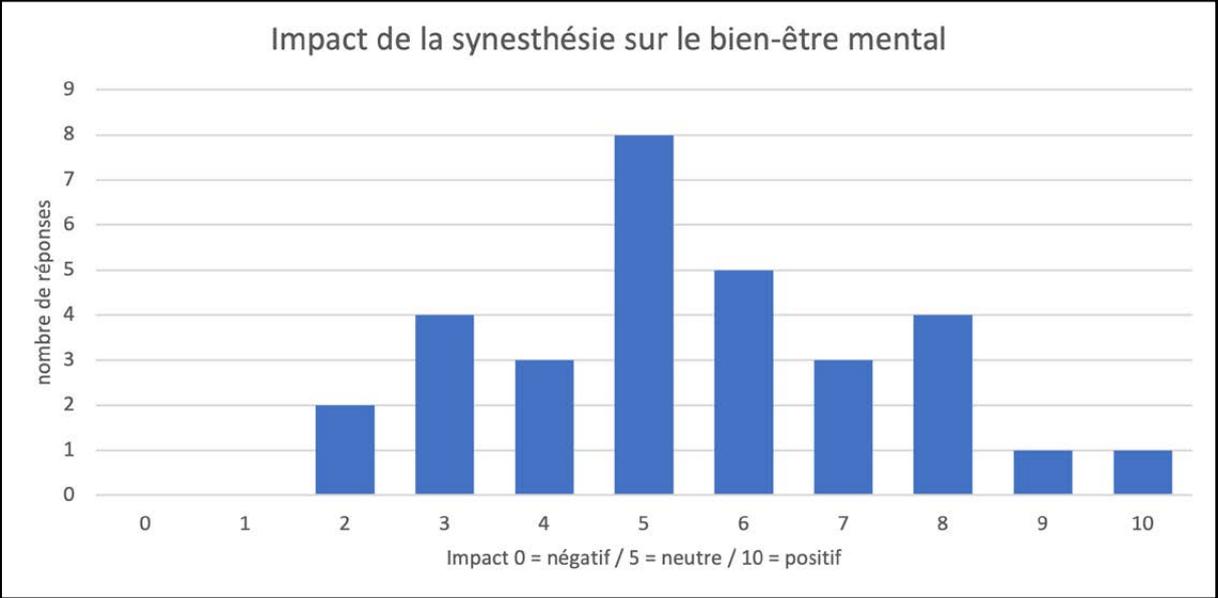
Les associations synesthésiques surviennent, par nature, de façon automatique, systématique et involontaire. Une personne synesthète ne choisit pas les moments ou les conditions qui définissent la différence de leur perception. Dans la vie quotidienne, dans la vie sociale, dans le cursus scolaire et dans la vie professionnelle, la synesthésie peut avoir un impact négatif, neutre, ou positif.

Les personnes ayant répondu à l'entretien ont pu renseigner l'impact de leur synesthésie sur leur vie en estimant celui-ci de façon numérique, de 0 à 10.

0 correspond à l'impact le plus négatif, 10 correspond à l'impact le plus positif et 5 correspond à un impact neutre (influence nulle).

n = 31





Figures 8, 9, 10, 11, 12. BOURDA Raphaël : Diagrammes issus d'enquêtes et d'analyses personnelles, 2024.

Nous observons clairement, à travers ces données, que la synesthésie peut avoir un réel impact sur la vie des synesthètes. Celui-ci est très variable selon la forme de synesthésie possédée et les expériences vécues par chacun et chacune, ce qui se manifeste par la répartition très inégale des réponses.

Certaines situations ou paramètres semblent néanmoins être davantage influencés que d'autres. C'est le cas de la vie scolaire et professionnelle pour laquelle les réponses n'indiquant aucune influence ne concentrent que 20% des données recueillies. En comparaison, les réponses neutres pour l'impact sur le bien-être physique représentent 45% des résultats.

La vie scolaire et professionnelle est influencée positivement dans 67,7% des cas, et négativement dans 12,9% des cas, selon notre échantillon. Cette tendance s'explique par les facilités dont profitent certains profils grâce à la synesthésie :

« I am able to memorize differently and often better than others. Concepts are summarised in colour. »

Traduction : « Je suis capable de mémoriser différemment et souvent mieux que les autres. Les concepts se résument en couleurs »

« Les associations entre lettres, chiffres et couleurs me permettent parfois de mieux retenir, en médecine. Par exemple le mot "Rifampicine" (antibiotique) est facile à retenir car la rifampicine est plutôt un mot avec du rouge et du orange qui prédominent »

« It helps a lot as an artist »

Traduction : « Ça m'aide beaucoup en tant qu'artiste »

Témoignages anonymisés.

Beaucoup de personnes ajoutent une nuance. Celle du parcours scolaire, parfois rythmé par l'incompréhension des autres y compris celle du corps enseignant, la difficulté de se concentrer à l'école et le sentiment de solitude dans la différence. Il semble que la synesthésie devienne un facteur d'influence positive lorsque la personne synesthète entre dans une vie professionnelle active avec une meilleure compréhension et de meilleures connaissances de la synesthésie. Si l'influence sur le bien-être physique semble relativement faible, le bien-être mental est

davantage impacté (positivement dans 45% des cas, négativement dans 29% des cas). Certaines réponses ont été accompagnées d'exemples :

« *I feel lonely and different. In a phase of finding your place in society, it does not help to find out that nobody feels and experiences the world like you do. Also I see my mood around me. Having a sad mood and seeing it all the time around yourself is not practical for coming to other moods.* »

Traduction : « Je me sens seul et différent. Dans la recherche de votre place dans la société, savoir que personne ne ressent et vit le monde comme vous n'aide pas. Aussi, je vois mon humeur autour de moi. Avoir une humeur triste, et la voir tout le temps autour de soi n'aide pas à passer à autre chose. »

« *It's beautiful, yet overwhelming* »

Traduction : « C'est beau, mais submergeant/envahissant »

« *The anxiety from still trying to manage getting overstimulated can be stressful. But synesthesia is the way I understand the world around me, create art, make music, understand people etc. Without it I'm lost. So yes, very positively impacts me in general!* »

Traduction : « L'anxiété de toujours essayer de gérer la surstimulation peut être stressante. Mais la synesthésie est la façon dont je comprends le monde qui m'entoure, crée de l'art, fais de la musique, comprends les gens, etc. Sans elle, je suis perdu. Donc oui, cela a un impact très positif sur moi en général »

Témoignages anonymisés.

Questionnées quant à l'intérêt ou non d'externaliser la synesthésie pour la rendre plus accessible au reste du public, les réponses sont positives, pratiquement à l'unanimité (seulement 2 personnes émettent une réserve).

Par ailleurs, 68,7% des profils sondés déclarent avoir déjà représenté ou essayé de représenter leur synesthésie pour la rendre plus accessible et la partager, notamment grâce à divers moyens d'expression artistique. Si la synesthésie est rare dans la population, elle semble être plus importante dans l'échantillon plus restreint des artistes.¹

L'ensemble des résultats est répertoriée de façon exhaustive en annexes (pages 122 à 141).

1 - Jacoba Urist, «Why Do So Many Artists Have Synesthesia?», dans Magazine The Cut, juillet 2016, New York Magazine

5 - OBSERVER LA SYNESTHÉSIE (IRM FONCTIONNELLE)

En plus de leur complexité, la difficulté principale pour étudier les phénomènes neurologiques repose sur leur aspect invisible à première vue. De nombreux tests et expériences sont menés par le biais de descriptions verbales des sujets concernés, mais les phénomènes semblent difficilement observables.

Ce n'est qu'en 2005¹ que les phénomènes synesthésiques ont été observés pour la première façon grâce à l'imagerie médicale, et plus précisément grâce à l'Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle (IRMf).

Les équipes du *Toulouse Neuro Imaging Center* (ToNIC) ont accepté, pour la recherche inhérente à ce mémoire, de m'ouvrir leurs portes et de mener ensemble des expériences visant à mettre en évidence le phénomène de synesthésie dans le cerveau.

Unité mixte de recherche entre l'Institut National de la Santé Et de la Recherche Médicale (INSERM) et l'Université Paul-Sabatier de Toulouse, le ToNIC est un département de recherche spécialisé dans l'étude du cerveau humain.

5.1) PRINCIPE DE L'IRM FONCTIONNELLE

Une IRM fonctionnelle (IRMf) est une technique d'imagerie médicale qui permet de cartographier l'activité cérébrale d'une personne.

D'une façon comparable au fonctionnement d'un muscle, lorsqu'une région du cerveau devient plus active, elle nécessite plus d'oxygène. En réponse, le corps augmente le flux sanguin vers cette région car c'est via la circulation sanguine que l'oxygène est véhiculé dans le corps.

C'est ce qu'on appelle la réponse hémodynamique.

Cette augmentation du flux sanguin ainsi que les variations locales d'oxygénation du sang sont des paramètres détectés par l'IRMf.

1 - Edward M. Hubbard, Neurocognitive Mechanisms of Synesthesia, Neuron Vol. 48 Issue Novembre 2005, Centre du Cerveau et de la Cognition, Université de Californie, San Diego.



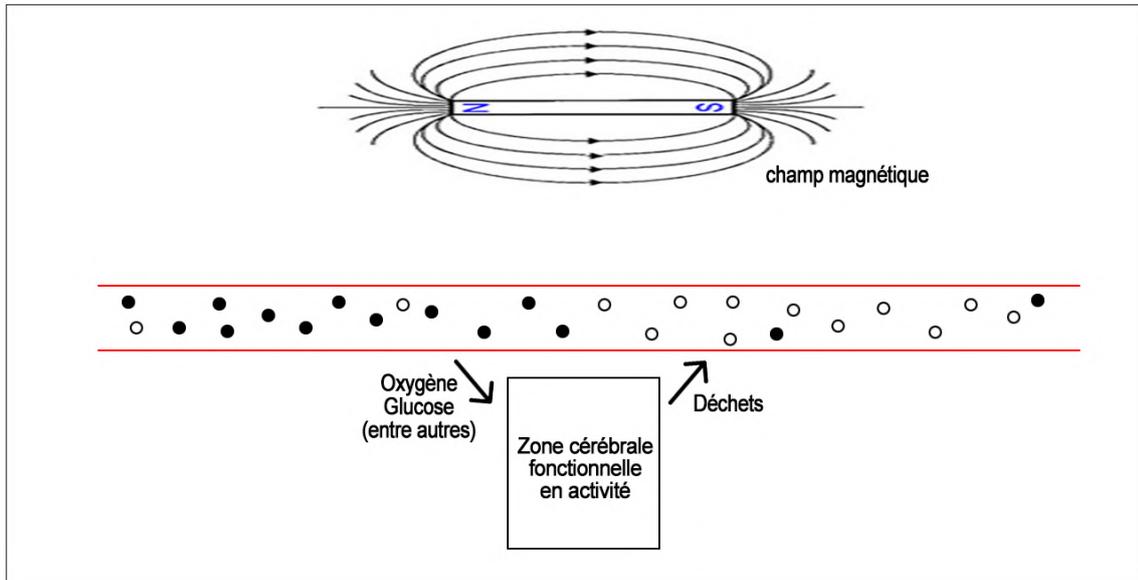
Figure 13. BOURDA Raphaël, *plateau IRMf du ToNIC, INSERM, Site hospitalier de Purpan, Toulouse, photographie numérique, 2024.*

En effet, l'oxygène est véhiculé dans le sang par les hématies, cellules connues également sous le nom de « globules rouges » et reconnaissables par leur forme de disques biconcaves. Ces cellules sont riches en hémoglobines, protéines permettant de fixer une molécule de dioxygène pour garantir son transport dans la circulation. On appelle « oxyhémoglobine » sa forme oxygénée, et « désoxyhémoglobine » sa forme non liée à une molécule de dioxygène.

Avec l'activation d'une zone cérébrale, des échanges s'effectuent avec le sang pour que les zones fonctionnelles captent l'oxygène nécessaire à leur bon fonctionnement. Les répartitions locales d'oxyhémoglobines et de désoxyhémoglobines renseignent donc sur l'ampleur des échanges au niveau d'une zone cérébrale, et par conséquent sur son activité. Ces données sont mesurables et constituent le Signal BOLD (Blood Oxygen Level Dependent).

Une machine d'IRM fonctionne en générant un champ magnétique grâce à un aimant principal et des bobines, agencés dans un système complexe prenant la forme d'un tunnel aux parois épaisses derrière lesquelles de l'hydrogène à très basse température (-270°C) compense la production de chaleur des bobines. La mesure du signal BOLD est possible grâce à la différence de propriétés magnétiques de l'oxyhémoglobine de la désoxyhémoglobine.

L'oxyhémoglobine perturbe localement le champ et diminue le signal IRM, elle est dite paramagnétique. La désoxyhémoglobine n'a pas d'effet significatif sur le champ magnétique local, elle n'affecte donc pas le signal IRM. Elle est dite diamagnétique.



- Globule rouge riche en désoxyhémoglobines (propriétés diamagnétiques : pas d'effet sur le signal IRM)
 - Globule rouge riche en oxyhémoglobines (propriétés paramagnétiques : effet sur le signal IRM)
- = CONTRASTE**

Figure 14. BOURDA Raphaël : *Schéma simplifié des échanges permettant la mise en évidence d'un contraste fonctionnelle en IRMf, 2024.*

Un contraste fonctionnel est ainsi observable dans l'ensemble du cerveau, soumis au champ magnétique. Répétées à intervalles réguliers, les mesures renseignent ainsi sur l'afflux sanguin et les échanges qui ont lieu, permettant la mise en place d'une cartographie de l'activité neuronale dans le temps.

5.2) OBJECTIF DE L'EXPÉRIENCE

Avoir accès aux infrastructures du ToNIC et être en relation avec les équipes d'ingénierie de la recherche (CNRS) qui y travaillent représentent une chance exceptionnelle permettant de mener une expérience basée sur l'Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle, dont le principe général a été précédemment exposé.

L'objectif est de modéliser une expérience visant à localiser l'activité cérébrale d'une personne synesthète soumise à différents stimuli. En mettant en évidence une activation des régions fonctionnelles qui correspondent à des modalités sensorielles qui ne sont pas visées par les stimuli proposés à un sujet volontaire, la synesthésie se constate dans le cerveau.

5.3) SUJET ET HYPOTHÈSE

Maike PREIßING, qui a accepté de prendre la co-direction de ce mémoire, a également accepté de venir à Toulouse et de se prêter à l'exercice. Parmi les différentes formes de synesthésie qu'elle possède, la forme qui a été retenue pour l'expérience est la forme « graphème-couleur ». Cette association est l'une des plus répandues dans la population synesthète et se traduit par une association systématique, automatique et involontaire entre les caractères alphanumériques ou les mots d'une part et les couleurs d'autre part.

Maike possède ces associations de façon projective, ce qui signifie qu'elle perçoit ces informations colorées induites autour d'elle, dans son espace péri-personnel. Dans son cas, le phénomène prend la forme d'une couche colorée perçue par-dessus chaque lettre, bien que celle-ci soit écrite ou affichée en noir, ou en toute autre couleur. La synesthésie étant systématique, les associations sont invariables. Chaque caractère est associé à une couleur précise. Pour Maike, ces associations ont lieu dès lors qu'un caractère de l'alphabet latin est visualisé. Les autres systèmes d'écritures et alphabets ne semblent pas considérés par son cerveau comme des graphèmes qui lui sont familiers, à moins qu'une exception lui rappelle la forme d'une lettre latine. Ainsi, l'alphabet coréen ne provoque pas de réponse synesthésique, mais le caractère cyrillique «И», proche du «N» latin, entraîne une réponse colorée. C'est sur la base de cette forme de synesthésie que le protocole suivant est basé.



Figure 15. BOURDA Raphaël : *Lettres écrites en noir perçues par une personne non synesthète et par Maike PREIßING, visuel d'illustration, 2024.*

L'hypothèse est la suivante. Dans un environnement achrome, la visualisation de caractères latins affichés en noir sur fond blanc entraîne chez notre volontaire synesthète une activation de la sous-région fonctionnelle (V4) du cortex visuel occipital, responsable de la vision des couleurs.

5.4) PROTOCOLE

L'expérience mise en place en collaboration avec les équipes du ToNIC est un test de paradigmes en bloc, dit de soustraction ou de différence. Cette architecture protocolaire est basée sur l'alternance de phases stimulantes et de phases non stimulantes de manière à enregistrer voxel¹ par voxel, l'activité cérébrale d'une zone pendant un stimulus, et y soustraire l'activité mesurée pendant la phase de repos (phase neutre, ou phase de référence R). L'activation des différentes aires du cerveau étant instable dans le temps, on retrouve naturellement des artefacts dans les données ainsi qu'un « bruit » dans le signal qui expliquent l'intérêt d'effectuer les mesures par comparaison différentielle avec l'activation de base du cerveau sans stimulus. On retrouve ici les notions de « signal sur bruit » fréquemment sollicitées dans l'étude des techniques photographiques. Dans le cas d'une IRM fonctionnelle, le rapport signal/bruit est faible. La machine émet un signal d'intensité relativement basse, et le bruit de fond est conséquent. L'analyse et le « nettoyage » des résultats se fait alors par le biais de calculs statistiques.

Deux expériences successives ont été répétées avec le sujet synesthète et le sujet témoin non synesthète. Elles sont détaillées ci-après, et les stimuli sont indexés en annexes (p. 142 à 152). La première d'entre elles consiste à afficher et montrer des couleurs à intervalles réguliers aux deux sujets. De cette manière, il est possible de localiser précisément la région fonctionnelle V4 sollicitée pour le traitement des informations colorées. La position précise de cette aire dans le cerveau fait l'objet d'une variation interindividuelle qui motive ce type de tests afin d'être certain de monitorer l'activité de la bonne région du cerveau. Une fois le centrage du sujet effectué, celui-ci doit rester immobile durant toute la durée des tests.

La deuxième expérience vise à confirmer ou infirmer l'hypothèse formulée en page précédente. Pour cette acquisition, une séquence de soixante secondes est répétée en boucle. Elle comporte une phase de trente secondes durant laquelle des caractères latins noirs apparaissent et disparaissent toutes les trois secondes, puis une phase de trente secondes durant laquelle le même processus est respecté avec des caractères appartenant à d'autres systèmes d'écriture.

1 - D'après le Dictionnaire de l'Académie de Médecine 2024, un voxel est un élément d'une image en trois dimensions (en imagerie 3D). Le voxel est à l'image 3D ce que le pixel est à l'image 2D. En scanographie et IRM, c'est un volume élémentaire, ayant la forme d'un parallélépipède droit qui compose chaque tranche de l'objet examiné. La hauteur du voxel correspond à l'épaisseur de la tranche examinée et sa base correspond à un pixel.

E F W	REWARD
한맛춤법	देवनागरी

Figure 16. BOURDA Raphaël : diapositives extraites d'un diaporama comportant les stimuli. Sur la première ligne, des stimuli liés à un phénomène synesthésique. Sur la deuxième ligne, des stimuli non liés, 2024

Chacune des deux expériences a été répétée trois fois par sujet de manière à multiplier les résultats face à des stimulations identiques, afin de moyennner les résultats ou d'être en mesure d'éliminer une série qui ne serait pas satisfaisante (mouvement de la tête, erreur de mesure, incident technique).

Les paramètres d'acquisition sont constants durant toutes les manipulations avec une acquisition toutes les deux secondes (TR=2000ms), soit cent cinquante images par séquence de cinq minutes. Les deux sujets passent une visite médicale d'inclusion obligatoire pour toute personne entrant dans un dispositif d'IRM, puis les tests sont répertoriées sur un document retraçant les étapes des examens (indexé en annexes p. 142 à 152). Les images générées par les acquisitions sont enregistrées au format DICOM, standard de l'imagerie médicale.



Figures 17, 18. BOURDA Raphaël : Visuels des manipulations réalisées le 7 mai 2024 au ToNIC (INSERM), Pavillon Baudot, CHU de Purpan, Toulouse, photographies numériques, 2024.



Figure 19. BOURDA Raphaël : *Visuel de manipulation réalisée le 7 mai 2024 au ToNIC (INSERM), Pavillon Baudot, CHU de Purpan, Toulouse, photographies numériques, 7 mai 2024*

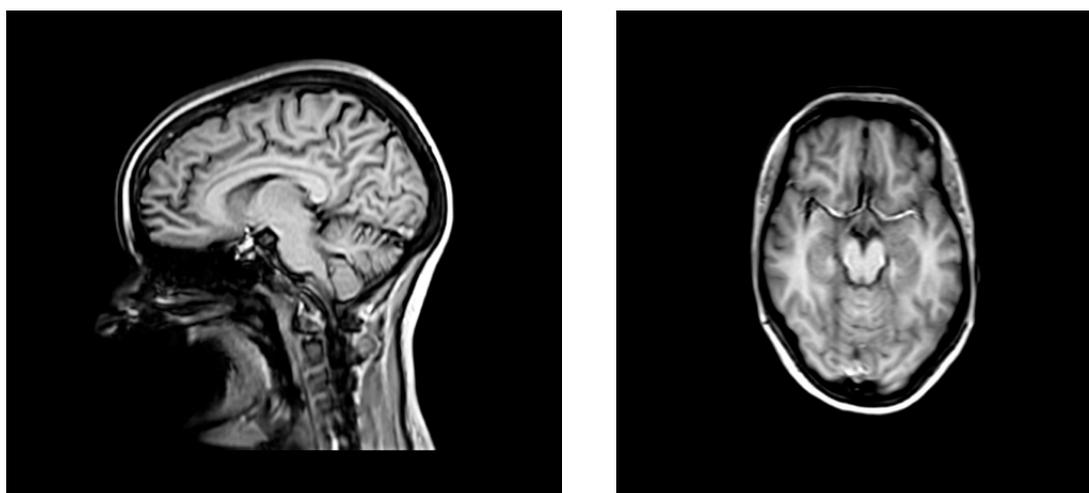


Figure 20. ToNIC, pour Raphaël Bourda : *Acquisitions anatomiques de centrage préalable (T1_3D) du sujet synesthète. À gauche, coupe sagittale. À droite, coupe coronale. Réalisées au ToNIC (INSERM), Pavillon Baudot, CHU de Purpan, Toulouse, Imageries par Résonance Magnétique (IRM), 7 mai 2024.*

5.5) RÉSULTATS

Les données acquises sous forme d'images DICOM, les récapitulatifs d'expérience et les stimuli affichés ont été envoyés au Dr. Duncan A. CARMICHAEL, professeur et chercheur à l'Université d'Edinburgh Napier en Écosse. En tant que spécialiste de l'imagerie cérébrale fonctionnelle et en tant que chercheur qui a beaucoup contribué aux travaux sur la synesthésie, son profil était idéal et son expertise précieuse.

À partir du programme *Statistical Parametric Mapping* (SPM) pour MATLAB, le traitement des données a pu être effectué. Les images structurelles ont été compilées pour cartographier le cerveau des sujets, les images fonctionnelles ont été nettoyées et débarrassées d'éventuels artefacts puis elles ont été alignées sur les modèles structurels générés afin d'être utilisées dans des calculs statistiques complexes.

Toutes les images correspondant aux stimuli relatifs à l'alphabet latin ont été réunies sous une même condition (1) et toutes celles qui ont été obtenues à partir des stimuli relatifs à d'autres systèmes d'écriture ont été regroupées sous une deuxième condition (2). Cette attribution sert à mettre en miroir les résultats obtenus à partir des blocs de stimulation établis dans l'expérience.

Il convient alors de comparer les activations cérébrales obtenues de façon différentielle à partir de calculs statistiques, entre le bloc 1 et le bloc 2. Cette analyse est effectuée voxel par voxel, pour chaque unité de volume cérébral.

Dans le cas où l'activation cérébrale d'un sujet ne varierait pas (en localisation et intensité) au cours de l'expérience pour les deux blocs de stimuli, les mesures obtenues et mises en miroir seraient théoriquement égales et s'annuleraient lors de l'analyse différentielle.

Au contraire, si le cerveau du sujet présente des réponses d'activation différentes par endroits selon les stimuli reçus, les résultats issus de la comparaison des valeurs seraient non nuls et mettraient en évidence les activations que nous cherchons à observer.

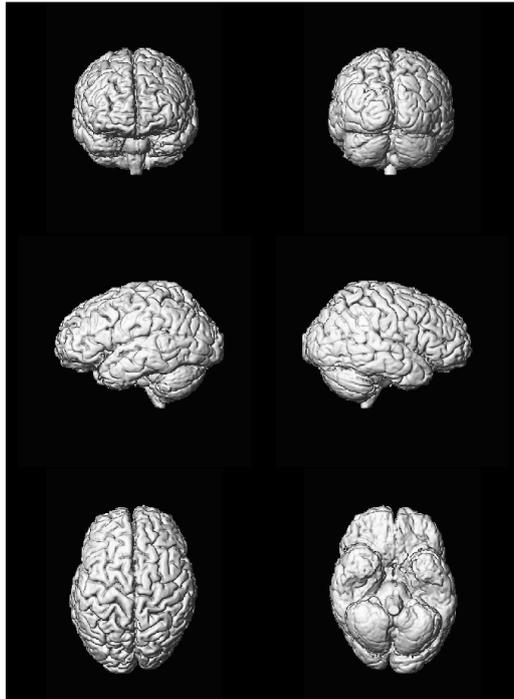
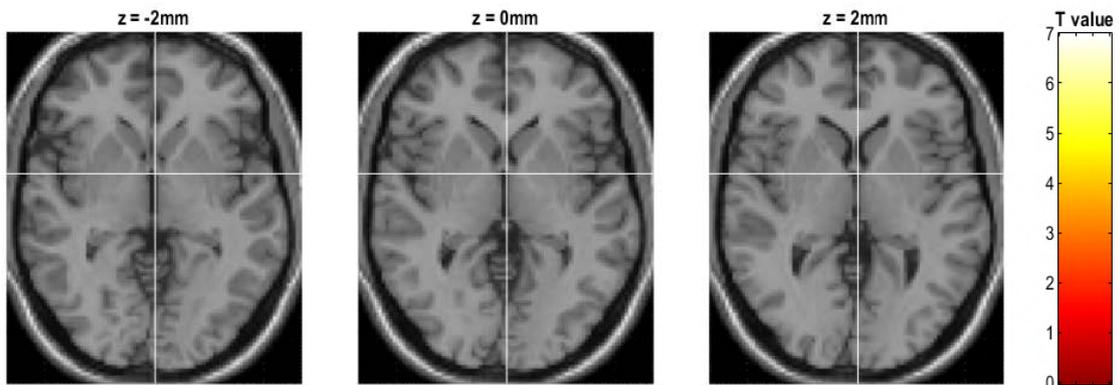


Figure 21. Dr. CARMICHAEL Duncan A. / ToNIC / BOURDA Raphaël : *Compilation des images structurales du cerveau du sujet synesthète (PREIßING Maike) avant analyse, rendu 3D, SPM Matlab, 2024.*

SUJET TÉMOIN - NON SYNESTHÈTE



SUJET TEST - SYNESTHÈTE

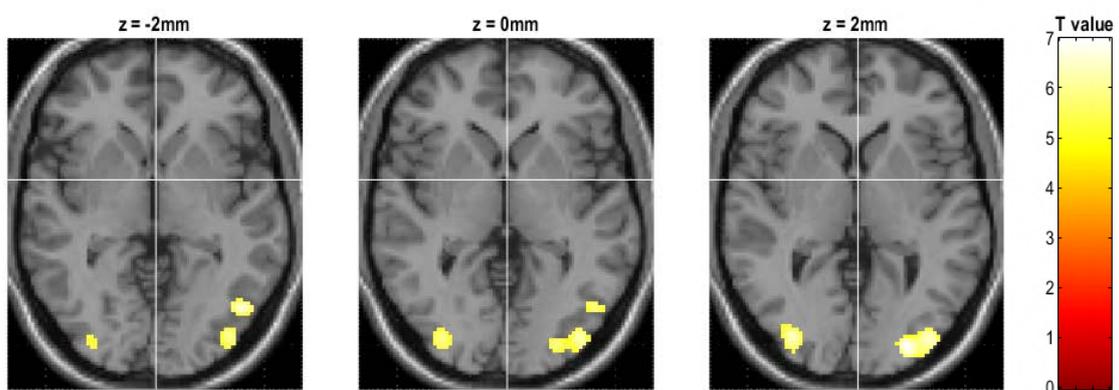


Figure 22. Dr. CARMICHAEL Duncan A. / ToNIC / BOURDA Raphaël : *Résultats d'IMRf obtenus après traitement pour le sujet non synesthète (control test) en haut et le sujet synesthète en bas, SPM Matlab, 2024.*

La *T value* est une valeur statistique qui renseigne sur le rapport signal/bruit. Elle est calculée en divisant l'activation mesurée par son erreur standard, illustrant ainsi la fiabilité et la précision des données recueillies. Plus la *T value* est élevée, plus la probabilité que l'activation observée soit liée au bruit est faible.

Les résultats montrent que le cerveau (témoin) du sujet non synesthète ne présente aucune différence d'activation tout au long de l'expérience. Les données mesurées pour les stimuli du bloc 1 et 2 se sont annulées lors de la comparaison différentielle, ce qui montre une stabilité et une continuité de l'activation cérébrale tout au long de l'expérience. Le sujet n'a perçu que des caractères noirs qui se succèdent, issus de différents alphabets.

Le cerveau du sujet synesthète manifeste quant à lui des modifications de réponses. La compilation des données met en évidence une différence d'activation, représentée par des taches de couleur sur les images de la page précédente. Ces points représentent les zones où le signal BOLD a été modifié par des différences d'oxygénation du sang qui témoignent d'une sollicitation particulière aux endroits où figurent ces taches.

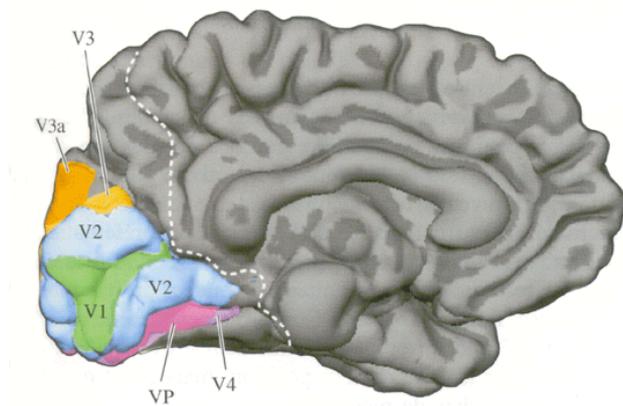


Figure 23. Institut Français de l'Éducation (IFE), ENS Lyon, Plateforme ACCES : *Aires visuelles humaines, face interne* (neurosciences, Purves), 2018.

Ces différences se situent dans les aires visuelles et notamment au niveau de l'aire extrastriée V4, sous-région fonctionnelle du cortex visuel, impliquée dans la vision des couleurs.

Ces observations sont cohérentes avec la synesthésie graphème-couleur que le sujet possède lors de la visualisation de caractères de l'alphabet latin mais qui ne se produit pas lorsque d'autres systèmes

d'écritures et symboles sont observés. Ces résultats sont probants et permettent de valider l'hypothèse qui a été formulée : dans un environnement achrome, la visualisation de caractères latins affichés en noir sur fond blanc entraîne chez notre volontaire synesthète une activation de la sous-région fonctionnelle (V4) du cortex visuel occipital, responsable de la vision des couleurs. Il resterait néanmoins intéressant de confirmer ces résultats par la répétition de ce protocole avec un échantillon plus large de synesthètes et de profils témoins.

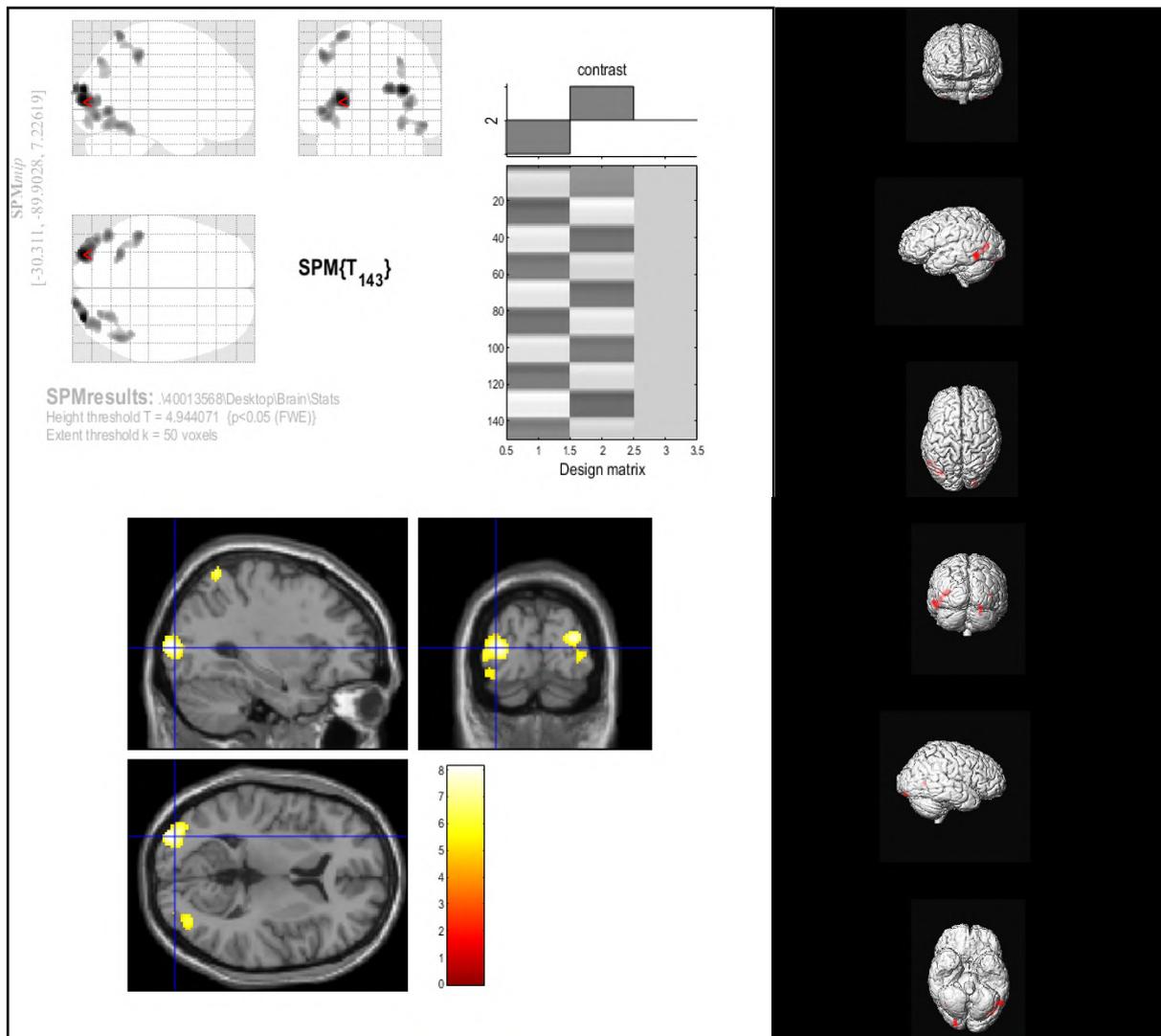


Figure 24. Dr. CARMICHAEL Duncan A. / ToNIC / BOURDA Raphaël : Résultats d'IRMf obtenus après traitement pour le sujet synesthète avec un marqueur sur V4 et projection sur les images structurales, SPM Matlab, 2024.

La totalité des résultats et des stimuli sont indexés en pages 142 à 152

Partie 2

Cas d'étude spécifique

Synesthésie vision-son

Protocole expérimental
Caractérisation & Simulation
Développement d'un dispositif interactif

1 - RECHERCHE DU DISPOSITIF

1.1) DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

Comment caractériser la réponse d'un individu synesthète (vision-son), la modéliser, la simuler et la rendre accessible auprès d'un public non synesthète ?

Afin de mettre en place un dispositif de simulation donnant accès à une représentation modélisée de la perception d'un individu synesthète, il faut en premier lieu procéder à sa caractérisation. La plateforme *The Synesthesia Tree*, validée et citée fréquemment par les départements de recherches des centres spécialisés, répertorie toutes les formes connues de synesthésie, leurs prévalences¹, les informations et détails qui y sont associés, ainsi que toute l'actualité en matière de recherche, constituant un véritable portail lié à de nombreuses sources connexes. Selon cette source, ce sont plus de 300 formes différentes de synesthésie qui sont aujourd'hui connues, soit autant de combinaisons et d'associations de modalités sensorielles existantes.

Si ces natures d'associations sont connues et partagées par certains profils synesthètes, les signaux inducteurs et induits quant à eux varient² d'une personne à une autre.

En d'autres termes, nous pouvons prendre l'exemple de deux individus possédant une même forme de synesthésie «graphème-couleur³». Ces deux profils partagent cette même association, mais ne relieront pas nécessairement les caractères et les couleurs en suivant les mêmes combinaisons.

Il existe cependant des tendances dans les associations au sein des échantillons de profils partageant les mêmes formes de synesthésie, mais la variation inter-individuelle est telle qu'elle ne permettrait pas de concevoir un modèle de simulation générique qui serait pertinent pour tous les profils conjointement.

1 - Marie-Margeride GARNIER, *La Synesthésie chez l'enfant : prévalence, aspects développementaux et cognitifs*, Thèse de doctorat en Psychologie (sous la direction de Michèle GUIDETTI et Jean-Michel HUPÉ), Toulouse, Université Jean-Jaurès, 2016, 353 p.

2 - Aleksandra Maria ROGOWSKA, *Synaesthesia and individual differences*, Cambridge University Press, 2015, 234 p.

3 - Mathieu RUIZ, *Codage cortical de la synesthésie graphème-couleur*, Thèse de doctorat en Neurocognition (sous la direction de Michel DOJAT), Grenoble, École doctorale Ingénierie pour la Santé, la Cognition, l'Environnement, 2014, 258 p. + annexes.

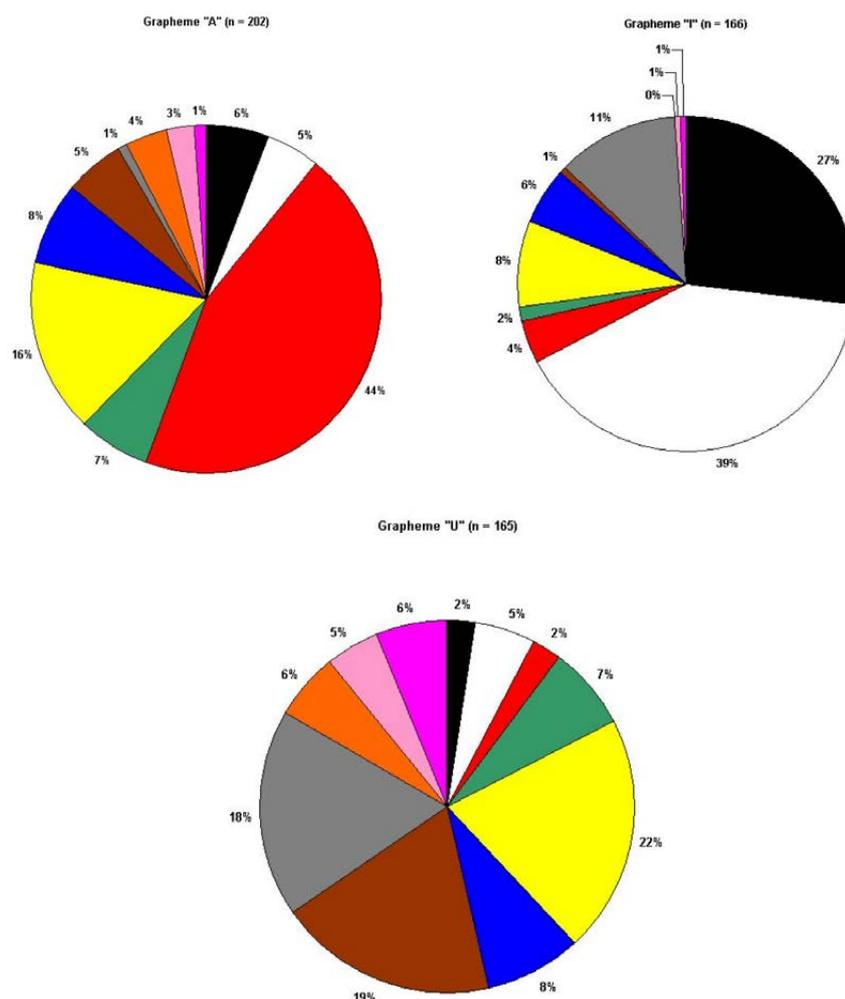


Figure 25. DAY Sean A. : Répartition des associations graphèmes-couleurs pour les lettres A (n=202), I (n=166) et U (n=165), d'après *Trends in Synesthetically Colored Graphemes and Phonemes* -- 2004 revision ,p 5-36.

Cette étude¹ menée par Sean A. Day, révisée en 2004, montre la répartition des couleurs associées à chaque caractère au sein de groupes d'individus synesthètes. Si la lettre U est associée à de nombreuses couleurs malgré des répartitions inégales, la lettre I semble ne pas engendrer de signal de couleur chez 77% de l'échantillon étudié (39% blanc, 27% noir, 11% gris).

En somme, le dispositif qui fait l'objet de la recherche dans ce mémoire est une étude de cas basée sur les modalités synesthésiques d'un profil isolé, dans la même dimension qu'une « preuve de concept ». Celle-ci visera à comprendre le tout par l'exemple.

1 - Sean A. DAY, *Trends in Synesthetically Colored Graphemes and Phonemes*, Recherche auto-publiée, Caroline du Nord (USA), Trident Technical College, révision 2004 [2003], 39 p.

1.2) DESCRIPTION DU DISPOSITIF

La finalité envisagée est un dispositif de simulation interactif d'une forme de synesthésie vision-son, faisant appel à une solution matérielle oculométrique.

Sa conception implique une série d'étapes qui sont détaillées séparément dans les pages suivantes. Dans la mesure où ce dispositif n'a encore jamais été mis en place, ce sont ces étapes, leur théorie et leurs mises en pratique, qui concentrent l'essentiel du processus de recherche du mémoire.

L'objectif visé est le développement d'un programme informatique permettant d'afficher des images à l'écran, de suivre le regard d'un utilisateur face à ces images, et de lui simuler en temps réel la perception d'une personne synesthète dont les modalités auront été déterminées au préalable. En d'autres termes, il s'agira de donner accès au grand public à une partie de la perception synesthésique.

Les étapes, qui font l'objet des chapitres suivants, sont :

- L'identification d'un profil pour ce projet de recherche.
- La caractérisation des associations synesthésiques perçues par ce profil.
- La simulation et le développement logiciel effectif du dispositif.
- La mise à disposition du programme via la présentation de la Partie Pratique du Mémoire (PPM)

Il est important de bien faire la distinction entre la simulation d'une partie des associations systématiques et involontaires d'une personne synesthète et les arts¹ liés à la synesthésie souvent inspirés par les associations de synesthètes réels ou d'autres systèmes de correspondances intermodales.

Les prochaines sous-parties détaillent le processus expérimental, les étapes de la recherche et les disciplines sollicitées. Les résultats issus du protocole font l'objet d'une partie 3 (page 71).

1 - Dani CAVALLARO, *Synesthesia and the Arts*, McFarland & Co Inc, Gloucestershire (UK), 2013, 213 p.

2 - IDENTIFICATION D'UN PROFIL POUR LA RECHERCHE

À partir de la base de données présentée en pages 15 à 19, répertoriant les synesthètes volontaires, et à l'issue d'un entretien dont la retranscription intégrale est indexée de la page 167 à 180 en annexes, un profil a été sélectionné car il remplissait tous les critères recherchés : localisation en Europe, maîtrise de l'anglais, possession d'une forme de synesthésie vision-son pour étudier le phénomène sous le prisme de la réception des images, ainsi qu'une grande aisance en matière d'externalisation verbale des signaux induits par la synesthésie.

Il s'agit de madame Daniela UHL, née en 1987. Elle est allemande et vit près de Munich, où elle exerce en tant que spécialiste des chaînes logistiques dans l'industrie pharmaceutique. Elle possède de multiples formes de synesthésie avec une grande connexion entre les couleurs, les sons et les émotions. Son environnement familial et génétique s'inscrit dans les contextes de neuroatypicités qu'il est fréquent de rencontrer chez les synesthètes : Troubles de Déficit de l'Attention et Hyperactivité (TDAH) et dyslexie notamment.

En parallèle de la synesthésie vision-son, elle cite également (et entre autres) :

- le « ticker-tape » ou « tickertaping », nommé en référence aux bandes des anciens télécriteurs. une perception permanente de mots écrits à la manière de sous-titres lorsque des paroles sont pensées, prononcées ou entendues.

Lors de notre entretien, elle explique :

- [...] J'ai aussi le ticker-tape. Tu connais ? Je vois des choses écrites dans mon esprit quand je parle, quand je parcours mes souvenirs, ou que ma pensée prend une forme écrite.

- Est-ce que tu dirais que ces mots sont dans le même plan mental (dit intrapersonnel) que la « petite voix » dans la tête de beaucoup de personnes quand elles pensent ou bien qu'elles lisent ? Ou est-ce que tu vois les mots projetés dans ton environnement, dans l'espace ?

- Dans ma tête.

- Donc en même temps que l'on discute, là, tu vois des mots au fur et à mesure que je parle ?

- Oui, quand je me concentre dessus, je les vois.

- La personnification ordinale/linguistique (POL), plus connue sous son abréviation anglophone OLP pour « ordinal/linguistic personification ». Elle induit une corrélation entre des séquences comme les nombres, les jours de la semaine, les mois, les années, ou encore les lettres de l'alphabet à des personnalités ou des genres. Ce phénomène synesthésique ne doit pas être confondu avec un rapprochement dit « acquis par la culture » qui consisterait par exemple à rapprocher les jours de la fin de la semaine à un sentiment de repos et d'apaisement avant la reprise du travail et de l'effort la semaine suivante.

Dans le rapport *A statistical study of pseudo-chromesthesia*¹ publié par la professeure de psychologie Mary Whiton Calkins en 1892, il est possible de lire et traduire en page 454, le témoignage suivant :

« T's are generally crabbed, ungenerous creatures. U is a soulless sort of thing. 4 is honest, but mathematically angular and ungraceful. 3 I cannot trust, though it is fairly good-looking in personal appearance. 1 is dark in complexion. 9 is dark, a gentleman, tall and graceful, but politic under his suavity. »

Traduction : « Les T sont généralement des créatures revêches, peu généreuses. U est une sorte de chose sans âme. 4 est honnête, mais mathématiquement anguleux et maladroit. 3 je ne peux pas lui faire confiance, bien qu'il soit assez beau en apparence. 1 a un teint sombre. 9 est sombre, gentleman, grand et gracieux, mais politique (ou politisé) sous sa douceur ».

- Et enfin, la « synesthésie en miroir au toucher » ou « synesthésie visuo-tactile », de l'anglais « miror-touch » qui motive Daniela à contrôler ce qu'elle regarde. La visualisation d'une sensation forte (souvent désagréable) vécue par une tierce personne engage automatiquement une perception similaire dans son propre système perceptif. Une situation de douleur observée, même fictive, procure chez elle une réception en miroir. Les scènes de combat, la torture, les incisions lors des autopsies régulières dans les téléfilms policiers, sont tant de situations qu'elle évite par dessus tout, préférant les fictions adaptées aux jeunes publics. Ce n'est que lorsque son fils en bas âge se blesse ou s'égratigne qu'elle doit prendre sur elle, et affronter une douleur qui lui est immédiatement projetée.

Pour finir sa présentation, Daniela UHL manifeste son hyperphantasie², c'est-à-dire sa capacité à visualiser des images mentales extrêmement claires et précises, bien plus réelles que la visualisation imaginaire d'une personne moyenne. Elle possède également une hypersensibilité certaine.

1 - Mary Whiton CALKINS, « A Statistical Study of Pseudo-Chromesthesia and of Mental-Forms », dans *The American Journal of Psychology*, 1893, n°4, Vol. 5, University of Illinois Press pp. 439-464

2 - L'inverse de l'hyperphantasie s'appelle l'aphantasie et désigne l'incapacité pour une personne de se représenter une image mentale.

Lors d'un déplacement organisé pour travailler chez elle à Guntzbourg, près de Munich en Allemagne, j'ai pu observer et confirmer son aisance à poser des mots sur des sensations, j'ai pu constater son enthousiasme à participer à un projet d'externalisation synesthésique et j'ai été frappé par sa sensibilité à l'environnement qui l'entoure, justifiée par les différentes formes de synesthésie qu'elle possède. Ses réactions face à différents stimuli visuels et sonores lors de nos séances de travail ou dans la vie quotidienne sont très largement exacerbées et la mènent très rapidement à des frissons ou des réflexes pilo-moteurs³. J'ai été frappé par les tremblements systématiques de ses paupières lorsque, les yeux pourtant fermés, elle concentre son attention sur les signaux induits par la synesthésie dans son espace mental et semble regarder à l'intérieur d'elle-même.

3 - Le réflexe pilo-moteur - ou piloérection - est une réaction épidermique communément appelée « chair de poule » qui se manifeste par le redressement des poils à la surface de la peau suite à des impulsions nerveuses qui provoquent la contraction de muscles érecteurs. Ce réflexe intervient en réponse à certaines situations pouvant être liées au froid, à la peur, à des émotions fortes et à certains états de jouissance.

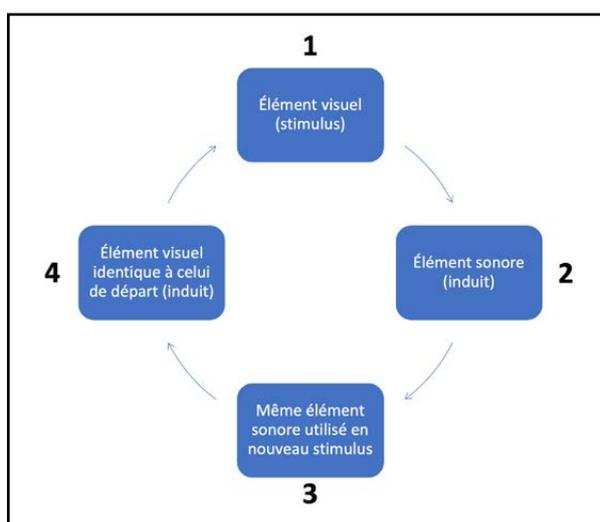
3 - CARACTÉRISATION DES CORRESPONDANCES INTERMODALES

Le dispositif envisagé consiste à rendre accessibles certaines associations d'une personne synesthète. Pour cela, une phase de caractérisation de ces connexions doit impérativement précéder la mise en place de la simulation.

Les correspondances intermodales désignent l'ensemble des associations qui lient des informations relevant d'une modalité sensorielle à une autre. Dans la mesure où la synesthésie se définit par le systématisme de ces connexions, l'objectif est de mettre en place un tableau de correspondance entre les caractéristiques visuelles inductrices (formes, couleurs, textures...) et les éléments sonores induits (fréquence, gain, timbre...).

Dans le cas de Daniela UHL dont la perception est ici étudiée, les connexions sont identiques dans les deux sens. Elle possède une forme de synesthésie vision-son qui est dite bilatérale et qui offre la possibilité de créer une boucle de confirmation.

De ce fait, dès lors qu'une association induite par la vision est caractérisée, il est intéressant de lui soumettre l'élément sonore nouvellement déterminé en tant que stimulus pour qu'elle voie apparaître la forme visuelle qui était le stimulus de départ.



Ces confirmations sont effectuées de manière ultérieure à la première caractérisation et sans prévenir le sujet que l'association a déjà été testée de manière à limiter les biais. En effet, effectuer la confirmation de l'association directement après l'avoir déterminée pourrait présenter un risque pour le sujet d'être influencé par sa première réponse.

Figure 26. BOURDA Raphaël : *Boucle de confirmation permise par la caractéristique bilatérale de la synesthésie de Daniela UHL (sujet de l'étude) pour la caractérisation des associations synesthésiques, schéma, 2024.*

La caractérisation des associations démarre par des entretiens permettant de mettre des mots sur les grandes lignes du fonctionnement des connexions pour le sujet. Daniela UHL possède plusieurs formes de synesthésie qui sont sollicitées par différents éléments formels lorsqu'elle regarde une image. Une simplification des éléments à caractériser est donc à effectuer pour se concentrer sur la forme de synesthésie vision-son qui motive le projet. La typologie des images et des éléments à étudier est ainsi déterminée conjointement avec Daniela UHL.

Une fois que ce périmètre d'étude est délimité, chaque élément formel est isolé pour être étudié séparément. Un tableau de correspondances est ainsi obtenu. À cause de la nature expérimentale du projet, la précision des associations déterminées a été préférée au détriment de l'exhaustivité des éléments testés.

Pour chaque élément, l'externalisation des signaux induits par la synesthésie doit d'abord passer par la description orale. En effet, la lecture des pensées et de l'imagerie mentale d'un cerveau humain suscite un effort de recherche considérable depuis des décennies. Son succès dans le futur, impliquant la visibilité de l'espace mental d'un individu sans passer par sa parole serait autant bénéfique pour la recherche synesthésique que dangereuse pour la vie privée.

En 2023, une unité de recherche de l'Université du Texas à Austin (États-Unis) publiait dans le magazine Nature Neuroscience un article¹ de recherche présentant la mise en place d'une interface cerveau-ordinateur capable de décoder un langage à partir d'enregistrements non invasifs qui pourrait avoir des applications scientifiques et pratiques. Les stimuli ne sont aujourd'hui qu'un très petit ensemble de mots, de phrases ou de vidéos muettes mais ont permis aux chercheurs et chercheuses de valider l'hypothèse future d'interfaces cerveau-ordinateur viables qui doivent respecter la vie privée et mentale.

Pour cette étude, les signaux sonores induits par la synesthésie à partir de la lecture d'éléments visuels passent par la communication orale en utilisant un maximum de comparaisons possibles. À partir de ces descriptions, des suggestions d'éléments sonores sont proposées au sujet qui pourra les commenter et les comparer au signal qu'il perçoit. Au gré des allers et retours, des propositions et des corrections, la précision du son s'affine. Lorsque la caractérisation est terminée, la simulation sonore et l'induction synesthésique se confondent, ou plutôt se superposent, dans la perception du sujet.

1 - Alexander G. Huth, Amanda Lebel, Jerry Tang, Shailee Jain, « Semantic reconstruction of continuous language from non-invasive brain recordings », dans Nature Neuroscience, n°26, p.858-866, Nature Research Ed, 2023.

4 - DÉVELOPPEMENT LOGICIEL DU DISPOSITIF DE SIMULATION

4.1) PRINCIPE OCULOMÉTRIQUE

Une fois la caractérisation terminée, l'oculométrie est au centre du dispositif interactif souhaité. Davantage connue sous son nom anglais « eyetracking », il s'agit d'un ensemble de techniques et de dispositifs permettant d'assurer la mesure et l'enregistrement du regard et de l'attention, essentiellement chez l'humain, mais aussi chez de plus en plus d'espèces animales.

Si l'oculométrie est massivement utilisée dans le développement de solutions marketing, de communication, de réalité virtuelle, de recherche technologique et de chirurgie laser, elle est également centrale dans la recherche médicale et cognitive et permet la mise en place de dispositifs interactifs.

La majorité des oculomètres - ou « eyetrackers » - fonctionnent grâce à la méthode PCCR¹, pour « Pupil Center Corneal Reflection ». Celle-ci repose sur l'utilisation conjointe d'une caméra infrarouge et d'une source de lumière infrarouge. En projetant un champ lumineux sur le visage, certains faisceaux sont réfléchis par la rétine² et permettent de délimiter les contours de la pupille. Le phénomène est similaire à celui que l'on observe notamment sur des photographies de personnes semblant avoir les « yeux rouges et lumineux » lorsqu'un flash intégré est situé proche de l'axe optique et éclaire les vaisseaux sanguins rétiniens.

Les mouvements oculaires correspondent aux rotations que les globes réalisent autour de leur axe central par contractions musculaires afin de déplacer le regard d'un point de fixation à un autre, de façon saccadée. Se faisant, les rotations modifient l'angle de réflexion du faisceau et renseignent sur l'orientation de la pupille.

Un autre faisceau réfléchi par la cornée reste fixe si la source lumineuse ne se déplace pas. C'est le reflet cornéen. La position de l'oeil est déterminée par comparaison³ des positions respectives du faisceau pupillaire et du faisceau cornéen grâce à un algorithme basé sur un

1 - Richard BOWMAN, Allen FOSTER, « Examen du reflet pupillaire » dans Revue de Santé Oculaire Communautaire, Novembre 2021, Vol. 18, n°25, pp 14, d'après J.R AINSWORTH., « See RED », poster produit par UK National Retinoblastoma Service, Birmingham, Angleterre, et par l'organisation nationale de soutien CHECT (Childhood Eye Cancer Trust).

2 - Un schéma anatomique de l'oeil ainsi que le fonctionnement de la vision humaine sont détaillés en annexes, page 116.

3 - Massimo GNEO, Maurizio SCHMID, Silvia CONFORTO, Tommaso D'ALESSIO, « A free geometry model-independent neural eye-gaze tracking system », dans Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, 2012, n°9, Art.82, BioMed Central.

modèle tridimensionnel de l'anatomie de l'oeil humain, embarqué dans l'oculomètre.

Un exemple par l'image, en page suivante, permettra de mieux visualiser et comprendre le phénomène.

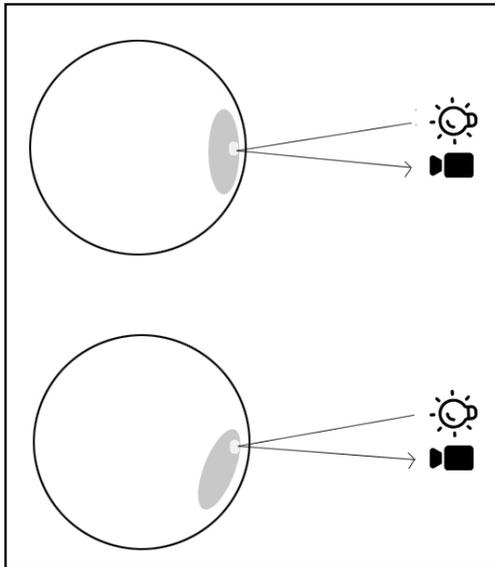


Figure 27. BOURDA Raphaël : *Reflet cornéen immobile lorsque le regard se déplace (rotation du globe oculaire)*, schéma simplifié, 2024.

À gauche ci-dessus, un schéma simplifié montre l'immobilité du reflet cornéen malgré la rotation du globe oculaire. Entre les deux positions schématisées, on observe qu'une tache blanche n'a pas changé de position malgré le décalage du regard. Dans la mesure où ce reflet est dû à une réflexion au niveau de la surface de l'oeil, sa position ne dépend pas de la rotation du globe oculaire. La caméra pourra enregistrer ce reflet immobile qui sera utilisé comme point de repère.

Pour suivre le regard en mesurant la position de ces faisceaux, l'oculomètre procède à des captures à intervalles réguliers qui dépendent d'une fréquence annoncée par le fabricant du dispositif. L'ordre de grandeur des fréquences pour ces appareils varie de 30Hz (standard)

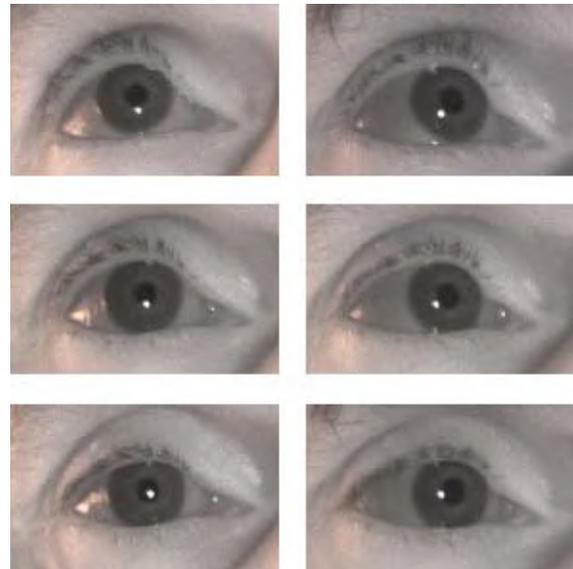


Figure 28. BLIGNAUT Peter : *Article Mapping the pupil-glint vector to gaze coordinates*, photographies numériques, 2014.

À droite ci-dessus, des photographies du chercheur Pieter Blignaut, postées sur la plateforme ResearchGate, permettent d'observer le phénomène. Nous retrouvons le reflet cornéen sous la forme d'une tache blanche, et nous pouvons comprendre grâce aux déplacements de la pupille, qu'un faisceau réfléchi par cette dernière prendra un angle différent à chaque rotation. C'est la mesure du faisceau pupillaire.

à plus de 1000 Hz, soit un enregistrement toutes les quelques millisecondes. Le dispositif utilisé pour ce projet est un oculomètre USB conçu pour enregistrer le regard sur un écran (eyetracker screen-based). Il s'agit du modèle Tobii Pro Nano, de la marque suédoise Tobii, spécialisée dans les solutions oculométriques depuis 2001.



Figure 29. Tobii : *Tobii Pro Nano screen-based eyetracker*, visuel commercial.

Sa fréquence d'échantillonnage est de 60 Hz et il offre une tolérance satisfaisante à d'éventuels mouvements de la tête de l'utilisateur.

4.2) CALIBRATION DE L'OCULOMÈTRE

Ce type de dispositifs doit être calibré régulièrement et de manière systématique lorsque l'utilisateur change. La forme des yeux, la géométrie du regard et l'exacte position de la fovéa au fond de l'oeil sont des paramètres sujets à une variation inter-individuelle suffisante pour fausser les mesures oculométriques. Pour des dispositifs amovibles à l'image de ce Tobii Pro Nano, une très légère différence de position ou d'inclinaison entre deux sessions expérimentales occasionne également des erreurs.

La puce intégrée contient une modélisation d'oeil 3D, qui s'adapte aux mesures anatomiques qui sont opérées à chaque calibration.

Pour la plupart des usages, le processus de calibration se décline de cette façon:

- Phase de collecte de données :

Affichage de points à suivre des yeux, à des coordonnées stratégiques. Ces cibles ont une taille modérée pour être visibles lorsqu'elles se déplacent d'un point à un autre, puis rétrécissent pour préciser la mesure.

- Phase d'optimisation

Les données mesurées sont intégrées à la modélisation de l'oeil 3D pour l'optimiser selon les caractéristiques de l'utilisateur.

- Phase de validation

La phase de collecte des données (première phase) est réitérée avec le modèle 3D configuré et actualisé lors de l'étape précédente. Un contrôle de qualité est effectué et présenté à l'utilisateur avec des données permettant de valider et terminer le processus de calibration, ou de le recommencer.

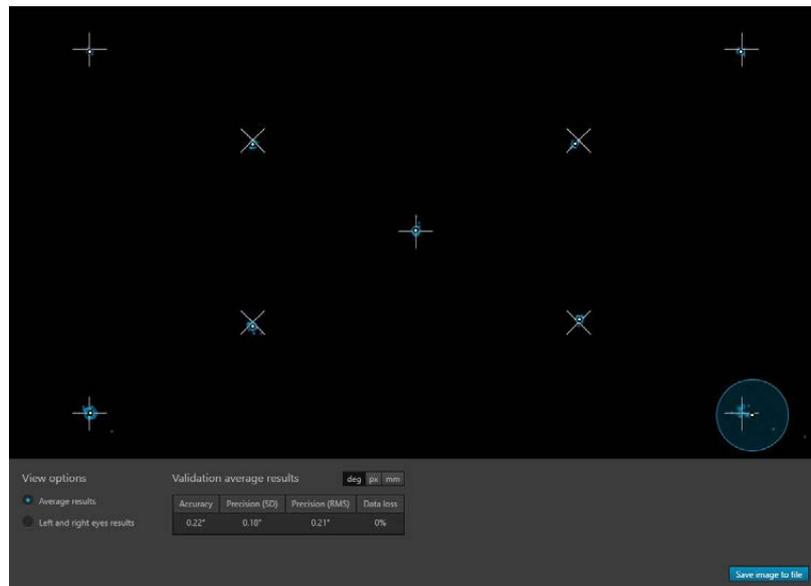


Figure 30. Tobii : Résultat de Calibration, SDK Documentation.

4.3) SYSTÈMES DE COORDONNÉES

Dans l'optique de développer un programme reliant des positions sur un écran, à des coordonnées oculométriques, il faut tenir compte des deux systèmes de coordonnées utilisés par les dispositifs Tobii et les solutions logicielles associées.

- Le Système de Coordonnées Utilisateur (SCU)

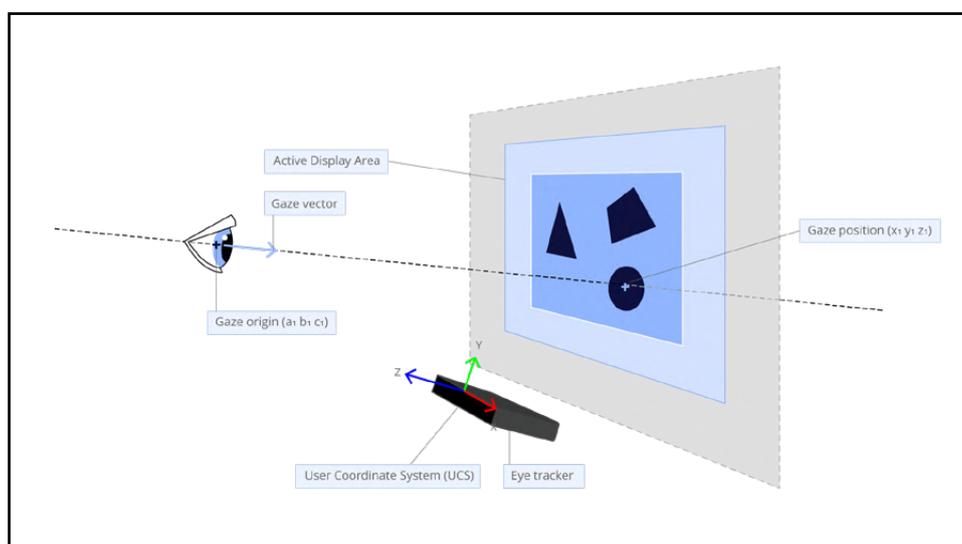


Figure 31. Tobii : User Coordinates System, SDK Documentation.

Beaucoup de données produites par des oculomètres comme le Tobii Pro Nano correspondant à des coordonnées dans l'espace tri-dimensionnel sont données avec ce système. Son origine est située au centre de la face frontale de l'oculomètre et les axes sont déterminés de la façon suivante : l'axe X est un axe horizontal qui pointe vers la droite de l'utilisateur, l'axe Y est un axe vertical dont le sens est dirigé vers le haut. L'axe Z quant à lui est dirigé vers l'utilisateur, perpendiculairement à la face frontale de l'appareil.

- Le Système actif de coordonnées d'affichage, connu sous l'abréviation ADCS (Active Display Coordinate System)

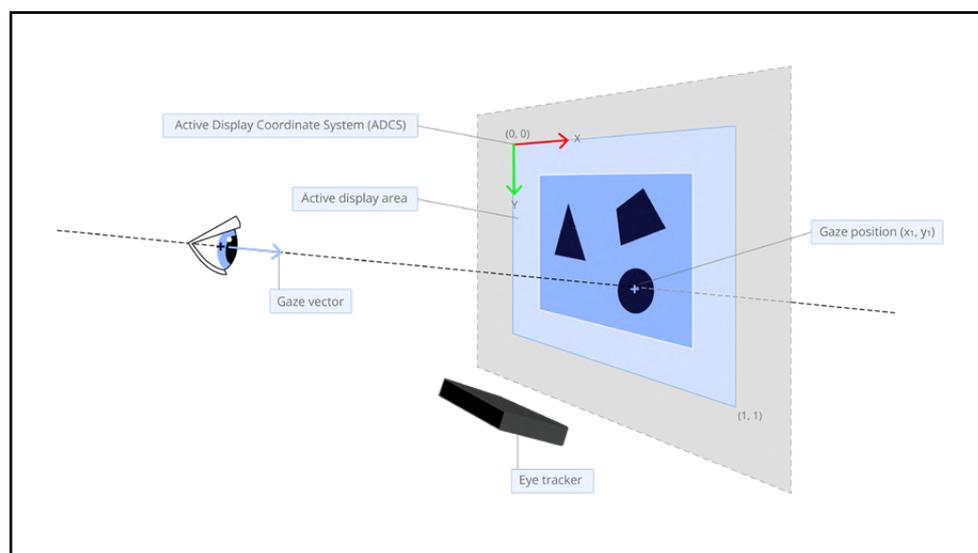


Figure 32. Tobii : *Active Display Coordinates System*, SDK Documentation.

Avec ce système, les données oculométriques sont cartographiées dans un plan (bidimensionnel) confondu avec le plan d'affichage. L'origine est fixée dans le coin supérieur gauche. L'axe X, celui des abscisses, est horizontal, tandis que l'axe Y des ordonnées est vertical. Les points (0,0) et (1,1) correspondent respectivement au coin supérieur gauche, et au coin inférieur droit.

Il existe d'autres systèmes de coordonnées utilisés par les dispositifs oculométriques Tobii, mais ils ne sont pas sollicités dans le développement de ce projet.

4.4) DÉBUT DU DÉVELOPPEMENT / BIBLIOTHÈQUES DE DÉVELOPPEMENT

Le développement du code destiné à faire fonctionner le dispositif se fait en Python.

Si dans de nombreux cas, les oculomètres Tobii sont utilisés à partir du logiciel Tobii Pro Lab qui distingue les phases de collecte de données et les phases de traitement, l'enjeu ici est de créer un dispositif interactif qui fonctionne en temps réel. L'affichage et le traitement des mesures oculométriques doivent se produire simultanément tout au long de l'exécution.

Deux bibliothèques de développement¹ sont utilisées pour ce projet : Tobii Pro SDK² Version Python et Pygame.

Tobii Pro SDK est une bibliothèque de développement fournie par le fabricant Tobii permettant le développement logiciel dans le cadre de l'utilisation d'un oculomètre de la marque. En plus de commandes pré-conçues qu'il sera possible d'utiliser pour dialoguer avec le matériel informatique (hardware), cette bibliothèque est accompagnée d'une documentation riche.

Pygame quant à elle permettra d'assurer et faciliter l'interactivité. Il s'agit d'une bibliothèque de développement Python consacrée aux jeux vidéo et à la création d'applications multimédias.

4.5) TEST DE FONCTIONNEMENT EN TEMPS RÉEL

Pour vérifier la faisabilité d'une application oculométrique en temps réel, un programme court est mis en place. Il doit afficher une fenêtre blanche en plein écran grâce à pygame, lancer l'oculomètre USB et démarrer la collecte des coordonnées. Tout au long de cette collecte, il devra afficher les mesures dans la console.

1 - Une bibliothèque de développement est une solution composée d'un ensemble d'outils logiciels facilitant le travail des développeurs. Elle contient des lignes de commande qu'il sera possible d'utiliser en important la bibliothèque dans son code.

2 - Tobii Technology, Tobii Pro SDK Documentation, Version 1.11.0, Mars 2023

Voici ci-dessous le code correspondant à ce test.

Le texte affiché en rouge après les symboles « # » correspondent à des annotations et des légendes qui permettent de se repérer dans le code. Ces lignes à destination de l'utilisateur ne sont pas interprétées dans le fonctionnement du programme.

```
1 import tobii_research as tr
2 import pygame
3 import time
4
5 # Initialisation de pygame
6 pygame.init()
7
8 # Taille de la fenêtre
9 window_size = (1280, 720)
10 screen = pygame.display.set_mode(window_size, pygame.FULLSCREEN)
11 pygame.display.set_caption("Eye Tracker Demo")
12
13 # Fonction pour afficher une image blanche
14 def display_blank_screen(screen):
15     screen.fill((255, 255, 255))
16     pygame.display.flip()
17
18 # Configuration de l'eye tracker
19 found_eyetrackers = tr.find_all_eyetrackers()
20 tracker = found_eyetrackers[0]
21
22 def gaze_data_callback(gaze_data):
23     if gaze_data['left_gaze_point_on_display_area'] is not None:
24         left_gaze_x, left_gaze_y = gaze_data['left_gaze_point_on_display_area']
25         # Conversion des coordonnées pour correspondre à la taille de l'écran
26         gaze_x = int(left_gaze_x * window_size[0])
27         gaze_y = int(left_gaze_y * window_size[1])
28         # Affichage de l'image blanche
29         display_blank_screen(screen)
30         # Impression des coordonnées en temps réel
31         print(f"Coordonnées du regard : x = {gaze_x}, y = {gaze_y}")
32
33 # Configuration de l'eye tracker
34 tracker.subscribe_to(tr.EYETRACKER_GAZE_DATA, gaze_data_callback, as_dictionary=True)
35
36 # Boucle principale
37 running = True
38 while running:
39     for event in pygame.event.get():
40         if event.type == pygame.QUIT:
41             running = False
42         elif event.type == pygame.KEYDOWN:
43             if event.key == pygame.K_ESCAPE:
44                 running = False
45
46 # Arrêt de l'eye tracker
47 tracker.unsubscribe_from(tr.EYETRACKER_GAZE_DATA, gaze_data_callback)
48 pygame.quit()
49
```

Figure 33. BOURDA Raphaël : Test préliminaire du fonctionnement du programme en temps réel, capture d'écran de code Python, 2024.

Les trois premières lignes permettent d'importer les bibliothèques de développement ainsi que des fonctions et informations relatives au temps (import time, ligne 3).

L'initialisation de la suite du programme est régie par les lignes 5 à 34.

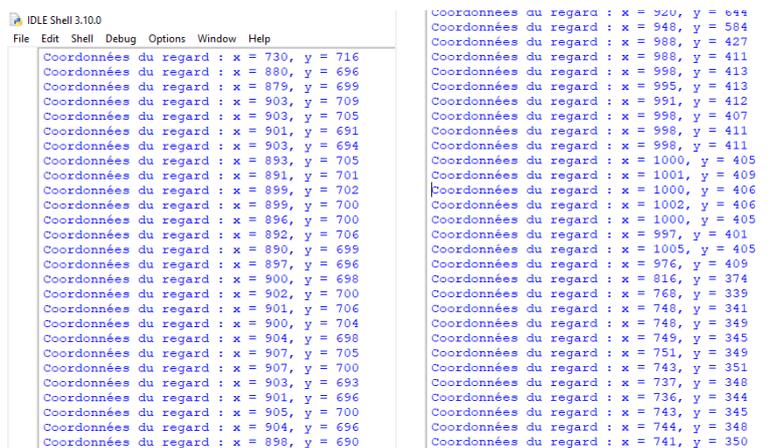
On y retrouve l'initialisation de pygame (lignes 5 et 6), l'initialisation de la page blanche à afficher (lignes 8 à 16), et la configuration de l'oculomètre (lignes 18 à 34).

La configuration de l'oculomètre comprend la recherche du périphérique connecté au système (lignes 18 à 20), la demande d'accès au flux continu des données mesurées qui s'apparente à une commande d'abonnement (subscribe : lignes 33 et 34) ainsi qu'une boucle de collecte et de traitement de ces données (lignes 22 à 31).

Cette dernière appelée « gaze_data_callback » est une fonction de rappel permettant de relancer une fonction à l'infini. Ici, elle permet de récupérer la position de l'oeil gauche, de s'assurer que les coordonnées relevées correspondent à la taille de l'écran et d'afficher sur la console de développement les coordonnées (x,y) du regard au fur et à mesure de leur collecte.

Les lignes 33-34, ainsi que les lignes 46 à 48 sont des commandes permettant de mettre fin à certains paramètres précédemment initialisés. On retrouve notamment le désabonnement au flux de données oculométriques, ainsi que l'arrêt du périphérique.

La « boucle principale » (lignes 36 à 44) permet de déclencher la fin du programme. Durant l'utilisation du programme, elle surveille l'activation de la touche « barre espace » ou « échap » qui entraîne l'arrêt et la fermeture de l'exécutable, comme si on retirait la clé du contact d'un véhicule. Sans cette boucle, les premiers tests du programme ont dû être arrêtés de façon radicale en mettant fin au processus Python dans le gestionnaire des tâches car aucune touche de fin n'avait été prévue.



```
Coordonnées du regard : x = 730, y = 716
Coordonnées du regard : x = 880, y = 696
Coordonnées du regard : x = 879, y = 699
Coordonnées du regard : x = 903, y = 709
Coordonnées du regard : x = 903, y = 705
Coordonnées du regard : x = 901, y = 691
Coordonnées du regard : x = 903, y = 694
Coordonnées du regard : x = 893, y = 705
Coordonnées du regard : x = 891, y = 701
Coordonnées du regard : x = 899, y = 702
Coordonnées du regard : x = 899, y = 700
Coordonnées du regard : x = 896, y = 700
Coordonnées du regard : x = 892, y = 706
Coordonnées du regard : x = 890, y = 699
Coordonnées du regard : x = 897, y = 696
Coordonnées du regard : x = 900, y = 698
Coordonnées du regard : x = 902, y = 700
Coordonnées du regard : x = 901, y = 706
Coordonnées du regard : x = 900, y = 704
Coordonnées du regard : x = 904, y = 698
Coordonnées du regard : x = 907, y = 705
Coordonnées du regard : x = 907, y = 700
Coordonnées du regard : x = 903, y = 693
Coordonnées du regard : x = 901, y = 696
Coordonnées du regard : x = 905, y = 700
Coordonnées du regard : x = 904, y = 696
Coordonnées du regard : x = 898, y = 690
Coordonnées du regard : x = 920, y = 699
Coordonnées du regard : x = 948, y = 584
Coordonnées du regard : x = 988, y = 427
Coordonnées du regard : x = 988, y = 411
Coordonnées du regard : x = 998, y = 413
Coordonnées du regard : x = 995, y = 413
Coordonnées du regard : x = 991, y = 412
Coordonnées du regard : x = 998, y = 407
Coordonnées du regard : x = 998, y = 411
Coordonnées du regard : x = 998, y = 411
Coordonnées du regard : x = 1000, y = 405
Coordonnées du regard : x = 1001, y = 409
Coordonnées du regard : x = 1000, y = 406
Coordonnées du regard : x = 1002, y = 406
Coordonnées du regard : x = 1000, y = 405
Coordonnées du regard : x = 997, y = 401
Coordonnées du regard : x = 1005, y = 405
Coordonnées du regard : x = 976, y = 409
Coordonnées du regard : x = 816, y = 374
Coordonnées du regard : x = 768, y = 339
Coordonnées du regard : x = 748, y = 341
Coordonnées du regard : x = 748, y = 349
Coordonnées du regard : x = 749, y = 345
Coordonnées du regard : x = 751, y = 349
Coordonnées du regard : x = 743, y = 351
Coordonnées du regard : x = 737, y = 348
Coordonnées du regard : x = 736, y = 344
Coordonnées du regard : x = 743, y = 345
Coordonnées du regard : x = 744, y = 348
Coordonnées du regard : x = 741, y = 350
```

Figure 34. BOURDA Raphaël : Console IDLE Shell 3.10.0 pendant le fonctionnement du programme, capture d'écran, 2024. [Les coordonnées (x,y) du regard basé sur l'oeil gauche défilent au fur et à mesure que l'oculomètre effectue ses mesures.]

Après plusieurs itérations, recherches d'erreurs et corrections, le programme présenté en

page précédente sous sa version finale fonctionne correctement. Il affiche les coordonnées du regard basé sur l'oeil gauche dans la console de façon continue, ce qui prouve la compatibilité de l'oculomètre Tobii Pro Nano pour le développement d'un programme en temps réel. La seule latence qui existe est celle de la récupération des données, elle correspond à la durée d'une image, soit 16 millisecondes avec notre fréquence d'échantillonnage de 60 Hz. En cas de clignement des yeux, la latence de récupération de la position du regard est identique : une seule image après leur réouverture est perdue, soit une perte de 16 millisecondes qui est imperceptible et n'altère pas le fonctionnement en temps réel.

4.6) TEST DE LATENCE LORS DU TRAITEMENT DES DONNÉES

Si le programme-test de la partie précédente (4.5) permet de prouver que l'oculomètre est capable de fournir ses mesures en temps réel, le code se contente d'afficher les coordonnées brutes sans effectuer de calcul.

Le fonctionnement interactif en temps réel pour l'utilisateur demeure-t-il possible lorsque le flux des coordonnées est interprété et soumis à des calculs et des actions ?

Pour ce test, l'objectif est de renouveler les mesures oculométriques en divisant l'écran en deux, par une séparation verticale centrale. Si le regard se pose sur la partie gauche de l'écran, un son doit être joué par le système. Si le regard se pose sur la partie droite, aucun son ne doit être joué. La durée de diffusion du son doit être fonction de la durée pendant laquelle la partie gauche de l'écran est regardée, allant d'un rapide coup d'oeil à une fixation du regard plus longue.

Ce code comprend également l'affichage d'un cercle noir à l'écran, généré en temps réel sur la position du regard. En plus de vérifier le bon suivi du regard, ce marqueur de suivi peut constituer une source de latence éventuelle car sa génération doit se faire en temps réel.



Figure 35. BOURDA Raphaël : *Visuel affiché pour le programme test, 2024.* [Il est nommé «imagetest.png» (l.1314 du code en page suivante)].

L'image affichée matérialise la séparation centrale de l'écran pour l'utilisateur de façon colorée. La partie rouge, à gauche, doit entraîner la lecture du son. La partie bleue doit y mettre fin.

```

1 import tobii_research as tr
2 import pygame
3 import time
4
5 # Initialisation de pygame
6 pygame.init()
7
8 # Taille de la fenêtre
9 window_size = (1920, 1080)
10 screen = pygame.display.set_mode(window_size)
11 pygame.display.set_caption("Latency Test")
12
13 # Chargement de l'image
14 image = pygame.image.load("imagetest.png")
15 image_rect = image.get_rect(center=(window_size[0] // 2, window_size[1] // 2))
16
17 # Chargement des sons
18 left_sound = pygame.mixer.Sound("note.wav")
19
20 # Configuration de l'eye tracker
21 found_eyetrackers = tr.find_all_eyetrackers()
22 tracker = found_eyetrackers[0]
23
24 def draw_gaze_point(gaze_point):
25     # Conversion des coordonnées pour correspondre à la taille de l'écran
26     gaze_x = int(gaze_point[0] * window_size[0])
27     gaze_y = int(gaze_point[1] * window_size[1])
28     # Dessin d'un cercle à la position du regard
29     pygame.draw.circle(screen, (0, 0, 0), (gaze_x, gaze_y), 10)
30
31 def gaze_data_callback(gaze_data):
32     if gaze_data['left_gaze_point_on_display_area'] is not None:
33         left_gaze_x, left_gaze_y = gaze_data['left_gaze_point_on_display_area']
34         # Affichage de l'image
35         screen.blit(image, image_rect)
36         # Dessin du point de regard
37         draw_gaze_point((left_gaze_x, left_gaze_y))
38         # Vérification de la position du regard
39         if left_gaze_x < 0.5:
40             # Si le regard est à gauche, jouer le son de gauche
41             left_sound.play()
42         else:
43             # Sinon, arrêter le son
44             left_sound.stop()
45         # Rafraîchissement de l'affichage
46         pygame.display.flip()
47
48 # Configuration de l'eye tracker
49 tracker.subscribe_to(tr.EYETRACKER_GAZE_DATA, gaze_data_callback, as_dictionary=True)
50
51 # Boucle principale
52 running = True
53 while running:
54     for event in pygame.event.get():
55         if event.type == pygame.QUIT:
56             running = False
57         elif event.type == pygame.KEYDOWN:
58             if event.key == pygame.K_SPACE:
59                 running = False
60
61 # Arrêt de l'eye tracker
62 tracker.unsubscribe_from(tr.EYETRACKER_GAZE_DATA, gaze_data_callback)
63 pygame.quit()
64

```

Figure 36. BOURDA Raphaël : Test de latence avec interprétation des mesures, capture d'écran de code Python, 2024.

On retrouve dans ce code les lignes d'initialisation ainsi que la boucle principale, toutes deux détaillées dans la partie précédente (4.5). Des lignes dédiées au chargement du son (format WAV) et de l'image-test (format PNG) sont ajoutées et l'affichage d'un cercle noir de 10 pixels sur la position du regard est décrite par la fonction `draw_gaze_point` (lignes 24 à 29).

La boucle de rappel que nous avons déjà dans le test précédent a été modifiée pour correspondre aux cahiers des charges de ce nouveau programme (lignes 31 à 46). Elle permet la récupération des positions oculométriques en temps réel, le déclenchement du marqueur visuel de suivi et la comparaison de l'abscisse des coordonnées à une droite verticale ($x=0,5$) correspondant à la séparation verticale de l'écran.

- Si le regard est à gauche, alors $x < 0,5$: le son est joué.
- Sinon, la diffusion du son s'arrête.

Après de multiples itérations, le programme fonctionne parfaitement et ne présente pas de latence, concluant positivement cette phase de test.

En revanche, le marqueur de suivi manifeste une certaine instabilité traduite par une vibration constante de sa position autour des coordonnées du regard même lorsque celui-ci est fixe. Après quelques recherches, cela semble provenir d'un ensemble de paramètres causant des valeurs issues d'erreurs parasites qui sont prises en compte dans la détermination de la position du regard et qui n'auraient pas été corrigées sans avoir pu les observer de cette manière.

4.7) LISSAGE DES DONNÉES ET STABILITÉ DU SUIVI

Le problème d'instabilité occasionnée par des valeurs parasites est justifié par de micro-déplacements oculaires et par d'éventuelles erreurs de mesure inhérentes à tout système de ce type.

Pour solutionner cette instabilité, il est intéressant de procéder à un lissage des données mesurées pour s'affranchir des fluctuations parasites du marqueur visuel, observées autour de la position du regard.

Pour ce faire, les coordonnées (x,y) acquises sont ajoutées à une file d'attente qui vont être moyennées de proche en proche pour estimer la position effective du regard sans les valeurs parasites. Il en résulte un suivi plus précis et stable en fluidité.

L'écueil de cette solution est l'augmentation de la latence par la mise en place d'une file d'attente dans les valeurs entrantes qui seront moyennées. Pour obtenir le meilleur compromis entre réactivité et lissage, cette solution est implémentée dans le code par l'ajout d'une boucle qui s'appelle `smooth_gaze_point` (voir code ci-dessous, ligne 29) et qui fait appel à un facteur de lissage (`smoothing_factor`) variable, correspondant à un nombre d'images à conserver en file d'attente.

```
25 # Nombre de frames à utiliser pour lisser le regard
26 SMOOTHING_FACTOR = 7
27 gaze_positions = deque(maxlen=SMOOTHING_FACTOR)
28
29 def smooth_gaze_point():
30     if gaze_positions:
31         avg_x = sum(pos[0] for pos in gaze_positions) / len(gaze_positions)
32         avg_y = sum(pos[1] for pos in gaze_positions) / len(gaze_positions)
33         return avg_x, avg_y
34     else:
35         return None
36
37 def gaze_data_callback(gaze_data):
38     if gaze_data['left_gaze_point_on_display_area'] is not None:
39         left_gaze_x, left_gaze_y = gaze_data['left_gaze_point_on_display_area']
40         # Ajout de la position du regard à la file d'attente
41         gaze_positions.append((left_gaze_x, left_gaze_y))
42         # Calcul de la position lissée
43         smoothed_gaze_point = smooth_gaze_point()
```

Figure 37. BOURDA Raphaël : Implémentation d'une fonction de lissage variable, capture d'écran de code Python, 2024

La variable `SMOOTHING_FACTOR` se situe en ligne 26 de l'extrait de code ci-dessus.

Plus le nombre d'images est important dans la file, plus il y aura de données à moyenner en attente, entraînant un meilleur lissage et une latence plus grande. Moins il y a d'images dans la file, plus le suivi est réactif au détriment de la stabilité.

De façon empirique, ce curseur est placé sur la collecte de 7 images consécutives à moyenner, générant une latence de 100 ms tout à fait acceptable.

Partie 3

Résultats & Application

1 - RÉSULTATS DE CARACTÉRISATION DES CORRESPONDANCES INTERMODALES

Cette partie - qui fait suite au développement du protocole en partie 2 - présente les résultats obtenus en suivant chaque étape du processus avec la synesthète volontaire Daniela UHL.

1.1) DÉLIMITATION D'UN PÉRIMÈTRE D'ÉTUDE

Les échanges menés avec Daniela ont rapidement mis en évidence que les associations synesthésiques vision-son peuvent être parasitées par d'autres formes de synesthésie affectant la perception de manière simultanée. L'angle de cette simulation étant serré sur les connexions visuelles et auditives, la typologie des éléments formels et des images à étudier a été adaptée de manière à pouvoir isoler au mieux les manifestations de cette forme de synesthésie.

Lorsque Daniela regarde une image et qu'elle reconnaît une personne ou une forme figurative, l'émotion prend le dessus sur les associations formelles et sa forme de synesthésie « mirror-touch » prédomine. Elle ressent alors au plus profond d'elle-même des émotions et des sensations relatives au toucher. Il est très difficile pour elle de se concentrer sur les éléments de forme vision-son, et une restitution qui ne tiendrait pas compte de ces facteurs émotionnels serait bien trop distante de la réalité de sa perception.



« Oh my God, take that one away. This picture hurts me. I can feel the scratches of the picture on my skin. Here, definitely, my mirror-touch synesthesia overlays the others. I just want to take away from that »

Traduction : « Oh mon Dieu, enlève ça. Cette photo me fait mal. Je ressens les griffures de la photo sur ma peau. Ici, c'est sûr, ma synesthésie mirror-touch empiète sur les autres. Je veux juste regarder ailleurs. »

Extrait d'échanges avec Daniela UHL

Figure 38. DELORME Nicola : Sans nom, photographie, Image Media Limited, 2024



Figure 39. BOURDIN Guy : Sans nom, The Guy Bourdin Estate, photographie couleur argentique, 1974

« This picture here is very funny because my eyes start at the red top which makes a nice sound for me. I really like the pitch of red a lot, it's one of my favorite colors. And when my eyes go down to the lighter part, for me it looks like it is kind of swallowed up from the black at the bottom. For me, it looks like a big black fish coming up and I can hear a sound like... **she imitates the sounds** »

Traduction : « Cette image est vraiment très drôle parce que mes yeux commencent sur le rouge en haut qui fait un joli son pour moi. J'aime beaucoup le son du rouge, c'est une de mes couleurs préférées. Puis quand mes yeux descendent vers la partie plus claire, pour moi c'est comme si elle se faisait avaler par le noir en bas. Pour moi, c'est un gros poisson noir vers le haut et je peux entendre un son, comme... **elle imite le son** »

Extrait d'échanges avec Daniela UHL

Le périmètre de cette étude doit alors se concentrer sur des formes abstraites ou non figuratives. Faisant souvent référence aux peintures de Wassily Kandinski - peintre russe naturalisé allemand, lui-même synesthète - Daniela semble pouvoir externaliser aisément les phénomènes synesthésiques vision-son provoqués par des peintures composées de formes géométriques colorées. Par ce rapprochement, certaines oeuvres de la photographe allemande Jessica Backhaus lui sont suggérées, pour questionner ce qu'elle perçoit.



Figure 40. KANDINSKI Wassily : *Cercles dans un cercle*, 1923. Huile sur toile, 100x95,6cm, Philadelphia Museum of Art, USA.



Figure 41. BACKHAUS Jessica : Sans nom, photographie numérique, dans *Série Cuts Outs*, 128 pages, 50 images 2021.

Avec cette typologie d'images, il s'avère que Daniela est en mesure d'externaliser les signaux induits par la synesthésie. Le périmètre de l'étude devient alors celui des objets visuels constitués de formes géométriques en couleurs.

1.2) NATURES DES CORRESPONDANCES INTERMODALES

L'enjeu est de comprendre comment les différentes caractéristiques des formes et du son sont associées. Une fois que les études ont été menées et que les résultats sont acquis, certains constats semblent simples et anodins mais ont nécessité une recherche approfondie et ont demandé à Daniela des efforts de concentration intenses. Les stimulations répétées et la succession des questions concernant une perception qui lui est propre - et qu'il est difficile de questionner lorsque l'on ne connaît que la sienne - ont rapidement entraîné des fatigues mentales et des besoins de prendre des pauses.

Ces exercices d'externalisation des associations ont eu pour but d'isoler chacun des paramètres afin de constater les différences synesthésiques induites.

La forme a-t-elle une influence sur le son induit ?

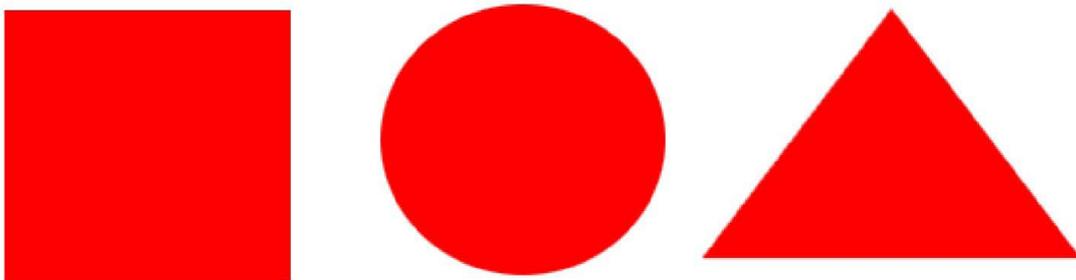


Figure 42. BOURDA Raphaël : *Visuel support pour la recherche (caractérisation des associations)*, 2024.

Daniela perçoit une fréquence (note) similaire pour ces trois formes mais un timbre différent. Après plusieurs tests et répétitions, nous avons pu confirmer que Daniela perçoit une hauteur de note - déterminée par une fréquence en Hertz - différente selon la couleur regardée.

La nature de la forme d'onde en elle-même que l'on appelle également « le timbre » est induit par la forme de l'objet géométrique regardé.

Ce n'est qu'après avoir effectué ces premières expérimentations et enregistré ces résultats que le colloque international sur la synesthésie «UKSA/ASA World Synesthesia Conference » s'est tenu à Oxford (annexes, pages 153 à 166

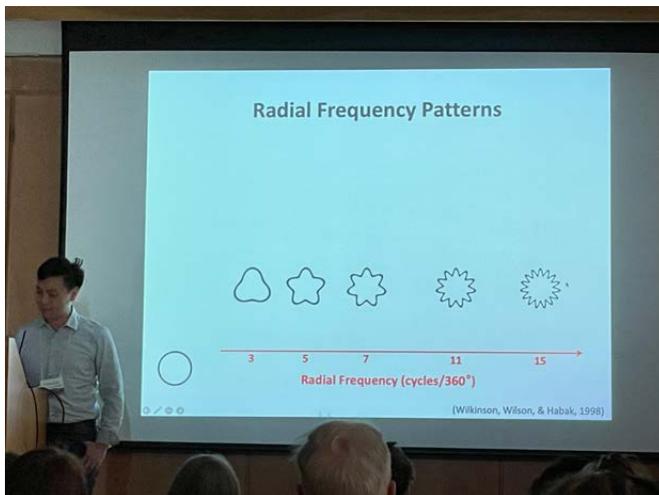


Figure 43. BOURDA Raphaël : *Aperçu de conférence de Yi-Chuan Chen : Crossmodal Correspondences between Sounds and Shapes : Mid-Level Processing, UKSA/ASA Synesthesia Conference, Oxford, photographie numérique, 2024.*

Une conférence intitulée « *Crossmodal Correspondences between Sounds and Shapes : Mid-Level Processing* » a été donnée par Yi-Chuan Chen, un compositeur synesthète et professeur de psychologie expérimentale spécialisé dans la perception multisensorielle au Mackay Medical College de Taiwan.

Sa présentation a pu conforter les résultats obtenus dans cette étude en mettant en évidence une forte tendance

chez les les synesthète vision-son à

associer la fréquence d'un son à une couleur ou une teinte, et à relier des « motifs » d'onde ou formes d'onde à des formes géométriques différentes.

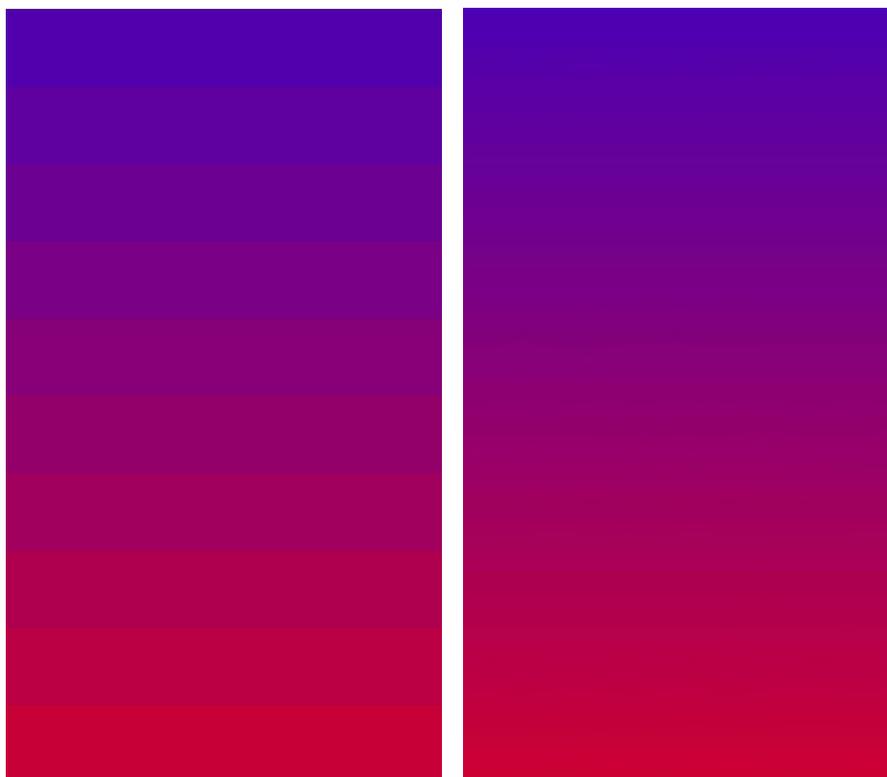


Figure 44. BOURDA Raphaël : *Visuel support pour la recherche (caractérisation des associations), 2024.*

Ce visuel de test constitué de deux dégradés permet de constater la finesse de la modulation dans les signaux induits par la synesthésie du sujet. Questionnée sur ce qu'elle perçoit, Daniela répond :

*« Here, with the color spectrum from violet to pink, I hear the same range of pitches in both pictures, but there are fine separations on the left picture. The pitches don't go fluently from one to another... but with small barriers, like if the sound had to jump from one pitch to the other over small barriers. It's like... *she imitates the sound*. On the right picture, without the boundaries, there is no such walls and it is goes completely fluently like... *she imitates the sound*»*

Traduction : « Ici, avec les dégradés de couleurs du violet au rose, j'entends la même gamme de notes dans les deux images mais il y a de vraies séparations sur l'image de gauche. Les notes ne sont pas fluides les unes après les autres, elles ont de petites barrières, comme si le son devait sauter de note en note par-dessus de petites barrières. Ça fait... *elle imite le son*. Et sur l'image de droite, sans les contours, il n'y a pas de mur comme ça et c'est complètement fluide, comme...*elle imite le son* »

Extrait d'échanges avec Daniela UHL

1.3) DÉTERMINATION DES ASSOCIATIONS

L'exhaustivité de la caractérisation des associations n'est pas envisageable dans les conditions d'expérimentation. Toutes les teintes bleues par exemple, ou toutes les teintes orangées n'induisent pas le même son. Le moindre décalage de teinte que l'oeil est susceptible d'identifier entraîne une réponse différente. Par ailleurs, chaque caractéristique d'un élément visuel (forme, couleur) doit être étudié individuellement, moyennant un temps très conséquent.

La qualité de la détermination des associations a été préférée à la quantité.

Dans la mesure où la synesthésie vision-son du sujet est bilatérale, la caractérisation et la confirmation des associations peuvent être faites dans les deux sens : de la couleur vers la fréquence, ou de la fréquence vers la couleur. N'étant pas en mesure d'étudier la totalité de la gamme continue des fréquences, il est préférable d'utiliser les demi-tons reconnus et admis en solfège.

Le rapport des fréquences de deux notes à l'octave est de 2.

Cela signifie par exemple, que pour passer d'une touche correspondant au 'la' d'un piano au 'la' de l'octave supérieure, il faut multiplier sa fréquence par 2. Une octave étant partagée en 12 demi-tons égaux, monter d'un demi-ton consiste à multiplier la fréquence par 'r' tel que:

$$2 = r^{12} \rightarrow r = \sqrt[12]{2} = 1,05946$$

L'étude ne considère donc que des fréquences séparées par un facteur $r = 1,0594$ en partant du standard 'la₃', celui « qui donne le la » à 440 Hz. Puisque la recherche des couleurs induites se fait de demi-ton en demi-ton, il est alors possible de schématiser un clavier de correspondances pour Daniela.

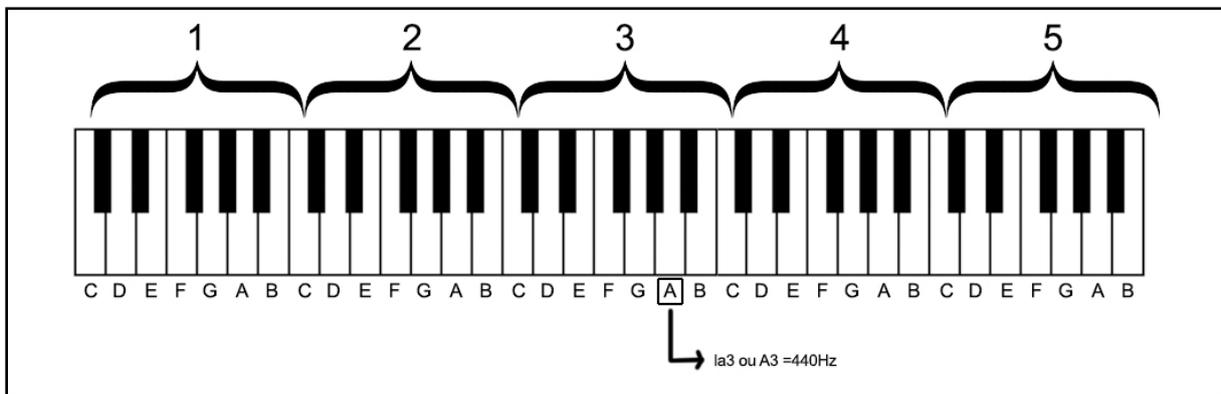


Figure 45. BOURDA Raphaël : Clavier vierge utilisé pour schématiser les associations intermodales, 2024.



À l'aide d'un casque audio anti-bruit à isolation active pour limiter les sons extérieurs, des fréquences isolées ont été diffusées. Pour que la précision soit optimale, Daniela ferme les yeux et écoute une même fréquence pendant quelques minutes pour s'imprégner et retenir la couleur induite dans son espace intrapersonnel (*mind's eye*). À l'aide d'un nuancier, elle retrouve ensuite la couleur qui produit la même note. Les associations sont testées plusieurs fois, et confirmées à quelques jours d'intervalle.

Figure 46. BOURDA Raphaël : Session de caractérisation d'associations intermodales, photographie numérique, Günzburg, Allemagne, 2024.

Il en résulte un tableau de correspondances qui peut prendre la forme de valeurs croisées, associant des fréquences (Hz) à des codes couleurs en hexadécimal, ou bien une forme de clavier schématique sur lequel chaque demi-ton est représenté en couleurs. Notons que cette représentation visuelle est schématique et ne se base sur un clavier de piano ou de synthétiseur que dans la mesure où l'on peut aisément lire les notes sur les touches de ce type d'instruments. On ne parle ici que de fréquences, complètement dissociées du timbre d'un piano.

Correspondances des associations intermodales caractérisées (fréquence/couleur)

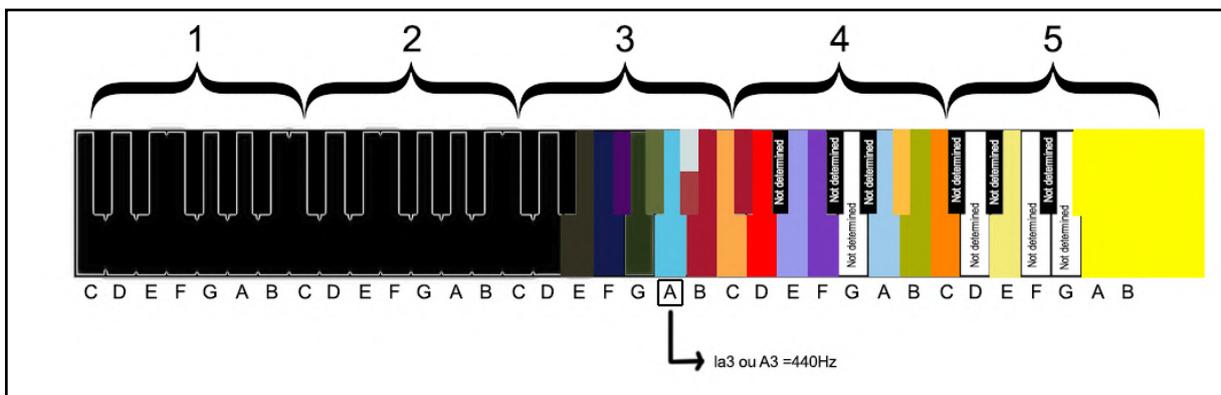


Figure 47. BOURDA Raphaël : Représentation visuelle des correspondances intermodales fréquences/couleur pour le sujet de l'étude, 2024.

Octave	Note	Fréquence (Hz)	Couleur Code (Hexadecimal)
3	C	130,81	#000000
	C#	138,59	#000000
	D	146,83	#000000
	D#	155,56	#000000
	E	164,81	#333021
	F	174,61	#131b50
	F#	185	#4b0868
	G	196	#283618
	G#	207,65	#606c38
	A	220	#A63D40 et #D1DEDE
	A#	233,08	#A63D40
	B	246,94	#a8182f
4	C	261,63	#FCA94A
	C#	277,18	#a8182f
	D	293,66	#ff0000
	D#	311,13	
	E	329,63	#9898EB
	F	349,23	#7739be
	F#	369,99	Black cercle and a bit of yellowish color around
	G	392	
5	G#	415,3	
	A	432	#9ccaeb
	A#	466,16	#feb41
	B	493,88	#a8ad02
	C	523,25	#ff8300
	C#	554,37	
	D	587,33	
	D#	622,25	
	E	659,26	#f2eb77
	F	698,46	Black cercle and a bit of yellowish color around
	F#	739,99	
	G	783,99	Black cercle and a bit of yellowish color around
G#	830,61	#fffc00	
A	880	#fffc00	
A#	932,33	#fffc00	
B	987,77	#fffc00	

Figure 48. BOURDA Raphaël : Tableau des correspondances intermodales fréquences sonores/codes couleur pour le sujet de l'étude, 2024.

Plusieurs commentaires et analyses peuvent être faits à partir de ces résultats.

D'abord, les couleurs semblent être induites par une gamme relativement restreinte de fréquences qui représentent environ 2 octaves et demi (164 à 880 Hz). Au-delà, toutes les couleurs induites sont jaunes. En-deçà, Daniela ne perçoit que du noir. Partant de l'hypothèse que la gamme de fréquences utiles pour ces associations allaient être bien plus large, nous avons caractérisé un grand nombre de valeurs en-dehors de ces 2 octaves et demi avant de faire cette analyse. Le pas d'un demi-ton qui a été choisi arbitrairement dès le départ pourrait être remis en question lors d'études complémentaires puisqu'une finesse de caractérisation supérieure entre 164 et 880 Hz permettrait de détailler un plus grand nombre de couleurs.

Certaines valeurs marquées par la mention "Not determined" n'ont pas été caractérisées parce qu'elles ont présenté des difficultés pour le sujet dans la recherche de la teinte, parce qu'elles n'ont pas été confirmées ou qu'elles ont été évitées pour d'autres raisons mêlant des formes de synesthésie parasites pour cette étude. Le temps consacré à chaque fréquence s'est avéré être bien supérieur aux estimations, et ce tableau est donc perfectible.

Enfin, la fréquence de 220 Hz (A3) a la particularité d'induire deux couleurs distinctes. Le sujet ne les perçoit pas comme un mélange mais bien comme deux teintes dans son espace intrapersonnel, ou « oeil mental » (*mind's eye*).

La correspondance des associations entre la synesthésie vision-son et son-vision de façon bilatérale a été confirmée. Néanmoins, le processus de perception additionnelle est bien plus rapide de la vision vers l'audition que dans le sens inverse. Daniela peut décrire la couleur induite par le son qu'elle entend mais elle a besoin d'écouter la même fréquence pendant de longues minutes pour être en mesure d'identifier la teinte dans un nuancier. Elle entend beaucoup plus rapidement l'association inverse.

Pour les formes géométriques, la restitution des associations est plus complexe car les formes d'onde - définissant un timbre - doivent coller parfaitement avec les descriptions verbales du sujet. Face à la complexité du processus, une liste de six formes a été arrêtée. Elles seront déclinées dans le programme de simulation en différentes couleurs selon les associations qui viennent d'être présentées dans les pages précédentes.



Figure 49. BOURDA Raphaël : *Liste des formes dont le timbre sonore a été induit chez le sujet, par associations synesthésiques multimodales : Carré / Parallélogramme / Cercle / Triangle / Vagues / Nuage, 2024.*

Chaque forme visuelle entraîne un timbre sonore très différent. La solution qui a été choisie pour parvenir à en effectuer une caractérisation repose sur des allers et retours entre des propositions et des corrections, de façon empirique. À partir des descriptions de Daniela, des suggestions de sons ont été faites pour être comparées aux signaux induits qu'elle perçoit via les phénomènes synesthésiques. Selon la nature de chacun de ces sons, plusieurs techniques de production expérimentales ont été sollicitées et presque toujours associées. Parmi elles, l'enregistrement sonore, la production assistée par Intelligence Artificielle (IA), la mastérisation (*mastering*), le filtrage et le mixage. De la même manière que la caractérisation effectuée précédemment avec les couleurs, la synesthésie vision-son / son-vision que le sujet possède dans les deux sens permet de faciliter les échanges. Le son suggéré produit lui-même une forme que Daniela peut comparer avec la forme géométrique recherchée.

LE CARRÉ

D'abord décrit comme « une vibration basse et profonde qui ressemble à un mantra (chant grave et puissant de moines hindouistes ou bouddhistes) », la forme d'onde a pu être reproduite en enregistrant une voix, en échantillonnant des extraits de chants, en les modifiant pour obtenir une légère réverbération sonore, et en avançant correction après correction jusqu'à la correspondance avec le timbre recherché.

À la fin du processus, et à force de modifications, un léger artefact dans les hautes fréquences

sonores était perceptible. Avant de filtrer ce défaut, ce son induisait dans la perception du carré de Daniela, des angles légèrement arrondis.



Figure 50, 51, 52. BOURDA Raphaël : *Formes induites par la synesthésie chez le sujet à partir de la forme d'onde caractérisée avant et après filtrage des hautes fréquences et forme d'onde finale, 2024.*

LE PARALLÉLOGRAMME

Décrit en premier lieu comme « le bruit d'une porte qui grince » dont la tonalité change de quelques demi-tons, provoquant ainsi la translation des faces opposées, il n'a pas été possible d'obtenir cette forme avec le bruit d'une porte. La forme était cependant relativement proche puisque Daniela a dessiné une forme de parallélogramme dont les arêtes ne sont pas lisses.

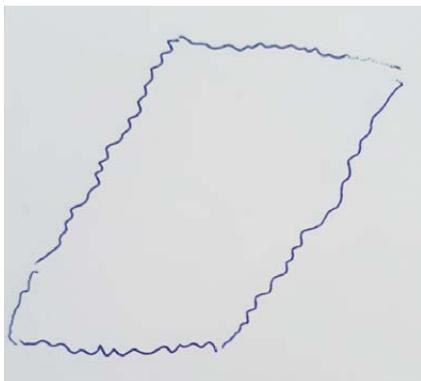


Figure 53. UHL Daniela : *Forme induite par un timbre de porte qui grince, dessin, 2024.*

Il s'est avéré par la suite qu'une forme de parallélogramme plus régulière peut être induite par un timbre de guitare électrique dont une note est jouée avec une technique de *bending*, c'est-à-dire en courbant une corde pour en changer la note. Plus le *bending* est important, plus la courbure de la corde est conséquente, plus l'écart des tons joués est important, et plus la translation des faces opposées du parallélogramme est importante.

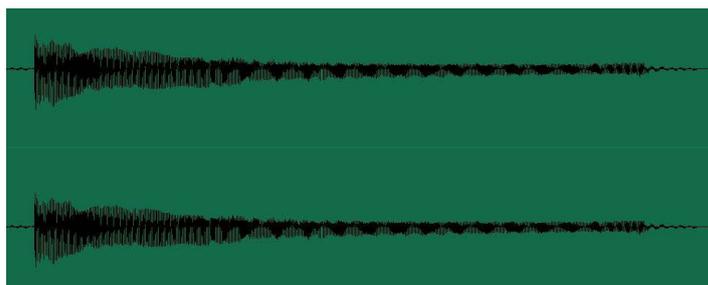


Figure 54. BOURDA Raphaël : *Forme d'onde du parallélogramme pour Daniela, capture d'écran 2024.*

LE CERCLE

Daniela décrit le cercle comme une forme qui induit un « son comparable au timbre perçu lorsqu'un batteur frappe une cymbale ». Cependant, enregistrer et échantillonner ce type d'instruments ne suffit pas. La cymbale est une percussion idiophone dont le son est produit sans caisse de résonance par sa propre vibration après un impact. Contrairement à une touche de synthétiseur qui peut être enfoncée aussi longtemps qu'on le souhaite, le son d'une cymbale est beaucoup plus invariable. Au début, l'impact provoque un pic dans la forme d'onde puis la vibration s'atténue progressivement. Lorsque Daniela regarde un cercle, elle perçoit un son continu dont le timbre s'apparente à celui d'une cymbale mais qui ne varie pas dans le temps, aussi longtemps qu'elle regarde le cercle.

Une fois que la bonne cymbale a été déterminée, des extraits ont nourri une Intelligence Artificielle (IA) afin de produire un son de cymbale continu, impossible à enregistrer naturellement.



Figure 55. BOURDA Raphaël : *Forme d'onde d'une cymbale avant traitement*, capture d'écran 2024.



Figure 56. BOURDA Raphaël : *Forme d'onde du cercle pour Daniela*, obtenue à partir d'une cymbale après traitement, capture d'écran 2024.

LE TRIANGLE

Le timbre du triangle a été abordé de la même façon que le son induit par le cercle, avec une base sonore située entre un petite cloche et un triangle (percussion). Ces instruments possèdent les mêmes caractéristiques qu'une cymbale et ont été traités de la même façon pour générer un son continu.



Figure 57. BOURDA Raphaël : *Forme d'onde du triangle pour Daniela après traitement*, capture d'écran 2024.

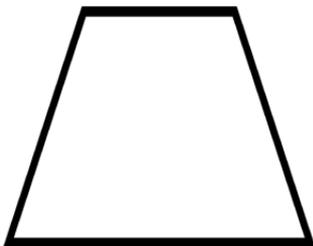
LA FORME DE VAGUES / LE NUAGE / LE TRAPÈZE

Les sons induits par ces formes sont beaucoup plus complexes à caractériser.

En effet, ils ont la particularité d'être bien plus mélodiques et le timbre perçu dépend de la zone, au sein de chaque forme, sur laquelle le regard de Daniela se pose.



Une forme de nuage très régulière induit une série de notes identiques, similaires au timbre d'une guimbarde avec laquelle une même note serait jouée en boucle. Cependant, en modifiant l'ouverture de la bouche qui constitue la cavité de résonance pour cet instrument, il est possible de jouer des notes différentes qui vont modifier la forme du nuage perçu en une forme plus irrégulière, très difficile à déterminer.



Le trapèze induit un son différent selon le balayage du regard. La perception de Daniela la pousse à appréhender cette forme en ne la regardant que de haut en bas, ou de bas en haut et il est très peu naturel pour elle d'y prêter attention différemment. Ce qu'elle perçoit est décrit comme un timbre proche du moteur d'une Formule 1 en mouvement entendu par le biais de l'effet

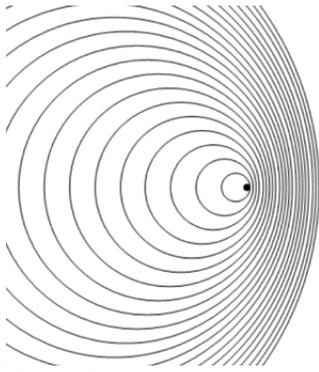


Figure 58. DOLERON : *Basic Doppler effect with moving wave source, schema, 2012*

Doppler, dû au décalage de fréquence d'une onde entre leur émission et leur réception. C'est cet effet physique qui explique le changement sonore que tout le monde entend lorsqu'un objet en mouvement (un véhicule par exemple) émettant un son régulier nous dépasse rapidement. Le son semble être différent lorsque l'objet se rapproche et lorsqu'il s'éloigne après nous avoir dépassé. Daniela compare le son qu'elle entend à une voiture de course qui s'approche lorsque le trapèze est regardé de haut en bas, ou à ce même objet qui s'éloigne, si la

forme est appréhendée dans le sens inverse. La forme d'onde du son induit diffère alors en chaque point du trapèze, et serait trop complexe à restituer précisément dans le programme qui fait l'objet de cette recherche.

Une forme constituée de petits vagues en demi-cercles présente les mêmes caractéristiques. Le son induit est une sirène dont le timbre et la hauteur varient selon la partie du motif qui est regardé. Ces résultats font partie des protocoles qui ont été mis en place et suivis mais ils demanderaient des efforts et du temps de recherche supplémentaires pour être menés à bien jusqu'à l'obtention de données pertinentes.



2 - APPLICATION DANS LE DÉVELOPPEMENT DE LA SIMULATION

À partir de l'architecture du code qui a été développée en partie 2, il est désormais possible d'adapter le programme grâce aux associations intermodales qui ont été caractérisées et déterminées dans les pages précédentes.

Le code comparait jusqu'à présent l'abscisse du regard par rapport à une droite verticale centrale. Si le regard est à gauche de cette séparation, un son est joué. Si le regard est à droite, aucun son n'est joué. De cette manière, il a été possible de confirmer la compatibilité du programme avec une analyse en temps réel des coordonnées oculométriques enregistrées par le périphérique eye-tracker.

Puisque des images contenant des formes géométriques de différentes couleurs vont être affichées à l'écran, la première étape consiste à modifier le fonctionnement d'analyse des coordonnées mesurées. La comparaison des abscisses (x) avec une simple droite verticale était un test technique mais elle ne permet pas de déterminer qu'un utilisateur est en train de regarder une forme à l'écran pour lui jouer le son correspondant.

2.1) FONCTIONNEMENT DES MASQUES

L'analyse de l'image affichée par le programme passe par une cartographie sous forme de masques contenant des pixels noirs (opaques) et une couche alpha (transparence) encapsulés dans un format d'image PNG.

L'image que l'on veut utiliser est une image JPEG contenant une composition de formes géométriques, de 1920 pixels de long par 1080 pixels de large afin de correspondre aux dimensions de l'écran de l'ordinateur qui accueillera le dispositif. Les cartographies PNG sont des images de même taille qui permettent de diviser le fichier affiché en masques noirs et transparents.

Voici un test qui a été produit dans le but de mettre à jour le code, avant que les images définitives ne soient utilisées et montrées lors de la Partie Pratique de Mémoire (PPM).

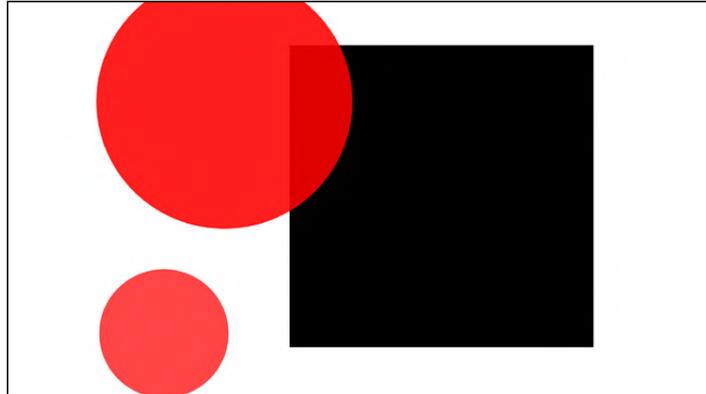
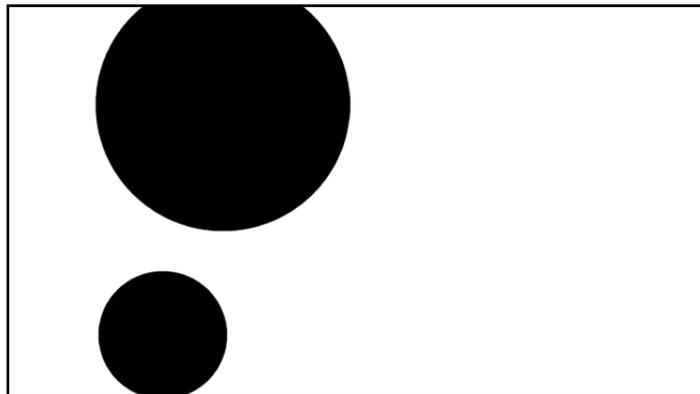


Figure 59. BOURDA Raphaël : *Test simple de composition géométrique pour mettre à jour le programme interactif de simulation, 2024.*

Dans cette image, nous avons deux cercles rouges et un carré noir. Les deux cercles rouges vont induire le même son, et le carré en produira un différent. L'image est affichée en l'état par le programme mais l'analyse du regard sera faite en comparant les coordonnées oculométriques avec les masques ci-dessous.



Figures 60, 61. BOURDA Raphaël : *Masques PNG de traitement pour le test simple de composition géométrique visant à mettre à jour le programme interactif de simulation, mask1.png, mask2.png, 2024.*

Chaque masque noir est nommé différemment. Pendant le suivi du regard de l'utilisateur, à l'instant où les coordonnées oculométriques (x,y) correspondent à une zone où l'un des masques contient des pixels noirs (opaques), le son correspondant est joué.

Les fichiers MP3 sont chargés dans le code et liés à chaque masque par une fonction d'activation.

mask1.png --> sound1.mp3

mask2.png --> sound2.mp3

Dans le code exposé ci-après, l'intersection des coordonnées du regard avec les zones opaques de chaque masque est analysée de façon individuelle, masque par masque.

En effet, dans la mesure où certaines formes peuvent se chevaucher et être vues par l'utilisateur de façon simultanée en un même point grâce à un jeu d'opacité, les masques doivent être traités séparément pour permettre la lecture conjointe de différents fichiers audio. Cela se traduit par des boucles d'activation différentes dans le programme.

Dans l'exemple présenté en page précédente, le gros cercle rouge passe devant le carré noir. Pour correspondre aux associations de Daniela, la zone d'intersection des deux formes induit la perception des deux sons respectifs de façon simultanée. Ce fonctionnement motive l'utilisation de boucles différentes dans le programme afin de pouvoir activer et désactiver chaque son joué sans influencer la lecture des autres.

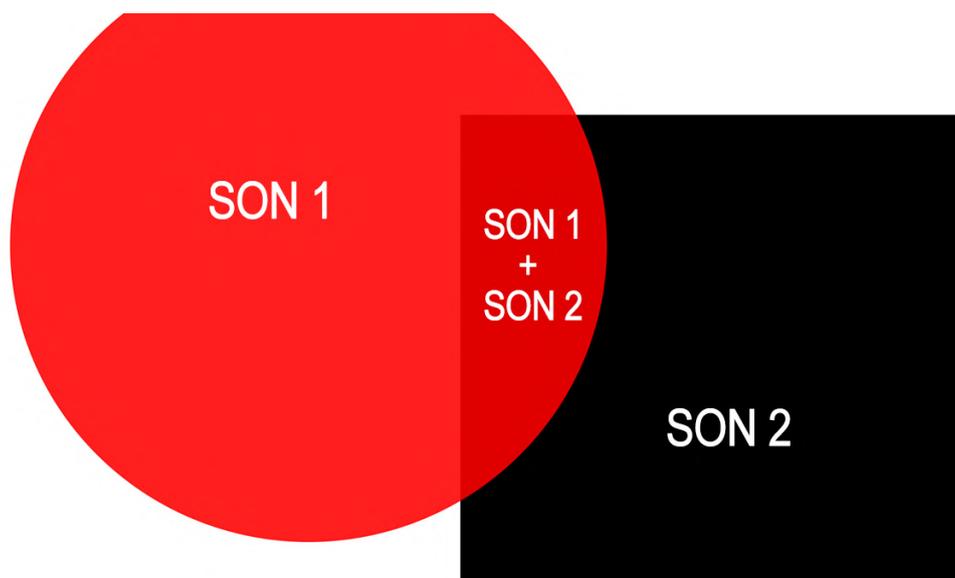


Figure 62. BOURDA Raphaël : Schéma d'intersection des formes sur le test simple de composition géométrique visant à mettre à jour le programme interactif de simulation, 2024.

2.2) RESTITUTION DU CODE FINAL (PYTHON) DU PROJET DE RECHERCHE

```
1 import tobii_research as tr
2 import pygame
3 import time
4 from collections import deque
5
6 # Initialisation de pygame
7 pygame.init()
8
9 # Taille de la fenêtre
10 window_size = (1920, 1080)
11 screen = pygame.display.set_mode(window_size)
12 pygame.display.set_caption("Eye Tracker Demo")
13
14 # Chargement de l'image
15 image = pygame.image.load("IMAGE.jpg")
16 image_rect = image.get_rect(center=(window_size[0] // 2, window_size[1] // 2))
17
18 # Chargement des masques
19 mask1 = pygame.image.load("mask1.png").convert_alpha()
20 mask2 = pygame.image.load("mask2.png").convert_alpha()
21
22 # Chargement des sons
23 sound1 = pygame.mixer.Sound("sound1.mp3")
24 sound2 = pygame.mixer.Sound("sound2.mp3")
25
26 # Configuration de l'eye tracker
27 found_eyetrackers = tr.find_all_eyetrackers()
28 tracker = found_eyetrackers[0]
29
30 # Nombre de frames à utiliser pour lisser le regard
31 SMOOTHING_FACTOR = 7
32 gaze_positions = deque(maxlen=SMOOTHING_FACTOR)
33
34 def draw_gaze_point(gaze_point):
35     # Conversion des coordonnées pour correspondre à la taille de l'écran
36     gaze_x = int(gaze_point[0] * window_size[0])
37     gaze_y = int(gaze_point[1] * window_size[1])
38     # Dessin d'un cercle à la position du regard
39     pygame.draw.circle(screen, (0, 0, 0), (gaze_x, gaze_y), 10)
40
41 def smooth_gaze_point():
42     if gaze_positions:
43         avg_x = sum(pos[0] for pos in gaze_positions) / len(gaze_positions)
44         avg_y = sum(pos[1] for pos in gaze_positions) / len(gaze_positions)
45         return avg_x, avg_y
46     else:
47         return None
48
49 def check_mask_hit(gaze_x, gaze_y, mask):
50     if gaze_x < 0 or gaze_x >= mask.get_width() or gaze_y < 0 or gaze_y >= mask.get_height():
51         return False
52     pixel_color = mask.get_at((gaze_x, gaze_y))
53     return pixel_color.a > 0 # Vérifie si le pixel est opaque
54
55 def gaze_data_callback(gaze_data):
56     if gaze_data['left_gaze_point_on_display_area'] is not None and gaze_data['right_gaze_point_on_display_area'] is not None:
57         left_gaze_x, left_gaze_y = gaze_data['left_gaze_point_on_display_area']
58         right_gaze_x, right_gaze_y = gaze_data['right_gaze_point_on_display_area']
59
60         # Calcul de la moyenne des coordonnées des deux yeux
61         avg_gaze_x = (left_gaze_x + right_gaze_x) / 2
62         avg_gaze_y = (left_gaze_y + right_gaze_y) / 2
63
64         # Ajout de la position lissée à la file d'attente
65         gaze_positions.append((avg_gaze_x, avg_gaze_y))
66
67         # Calcul de la position lissée
68         smoothed_gaze_point = smooth_gaze_point()
69
70         if smoothed_gaze_point is not None:
71             # Conversion des coordonnées pour correspondre à la taille de l'écran
72             gaze_x = int(smoothed_gaze_point[0] * window_size[0])
73             gaze_y = int(smoothed_gaze_point[1] * window_size[1])
74
75             # Affichage de l'image
76             screen.blit(image, image_rect)
77
78             # Dessin du point de regard lissé
79             draw_gaze_point(smoothed_gaze_point)
80
81             # Vérification des masques
82             mask1_hit = check_mask_hit(gaze_x, gaze_y, mask1)
83             mask2_hit = check_mask_hit(gaze_x, gaze_y, mask2)
84
85             # Jouer ou arrêter les sons en fonction des masques touchés
86             if mask1_hit:
87                 if not pygame.mixer.Channel(0).get_busy():
88                     pygame.mixer.Channel(0).play(sound1)
89             else:
90                 pygame.mixer.Channel(0).stop()
91
92             if mask2_hit:
93                 if not pygame.mixer.Channel(1).get_busy():
94                     pygame.mixer.Channel(1).play(sound2)
95             else:
96                 pygame.mixer.Channel(1).stop()
97
98             # Rafraîchissement de l'affichage
99             pygame.display.flip()
100
```

```

80
81     # Vérification des masques
82     mask1_hit = check_mask_hit(gaze_x, gaze_y, mask1)
83     mask2_hit = check_mask_hit(gaze_x, gaze_y, mask2)
84
85     # Jouer ou arrêter les sons en fonction des masques touchés
86     if mask1_hit:
87         if not pygame.mixer.Channel(0).get_busy():
88             pygame.mixer.Channel(0).play(sound1)
89         else:
90             pygame.mixer.Channel(0).stop()
91
92     if mask2_hit:
93         if not pygame.mixer.Channel(1).get_busy():
94             pygame.mixer.Channel(1).play(sound2)
95         else:
96             pygame.mixer.Channel(1).stop()
97
98     # Rafraîchissement de l'affichage
99     pygame.display.flip()
100
101 # Configuration de l'eye tracker
102 tracker.subscribe_to(tr.EYETRACKER_GAZE_DATA, gaze_data_callback, as_dictionary=True)
103
104 # Boucle principale
105 running = True
106 while running:
107     for event in pygame.event.get():
108         if event.type == pygame.QUIT:
109             running = False
110         elif event.type == pygame.KEYDOWN:
111             if event.key == pygame.K_SPACE:
112                 running = False
113
114 # Arrêt de l'eye tracker
115 tracker.unsubscribe_from(tr.EYETRACKER_GAZE_DATA, gaze_data_callback)
116 pygame.quit()
117

```

Figure 63. BOURDA Raphaël : Code du programme final en Python (116 lignes), capture d'écran IDLE, 2024.

Ce code est désormais compatible avec n'importe quelle image (1920x1080 pixels) que l'on souhaiterait charger. Seule une division de l'image en masques PNG est nécessaire.

Il peut y avoir autant de masques PNG et de fichiers audio que l'on souhaite, il suffit de les ajouter à la suite. Ici, le test a été fait avec deux masques. Les fichiers *mask1.png* et *mask2.png* sont respectivement liés aux fichiers audio *sound1.mp3* et *sound2.mp3*

Pour utiliser ce code avec une autre image et de nouvelles associations intermodales :

- Charger la nouvelle image JPEG (*lignes 14 et 15 du code*)
- Charger les nouveaux masques PNG (*lignes 18 à 20 du code*)
- Charger les nouveaux fichiers audio MP3 (*lignes 22 à 24 du code*)
- Mettre à jour la vérification des masques (*lignes 81 à 83 du code*)
- Mettre à jour la boucle d'activation avec les nouvelles associations (*lignes 85 à 96 du code*)

2.3) CRÉATION D'UNE INTERFACE

Ce programme fonctionne mais il doit maintenant être utilisable par un public. Il ne comporte pour l'instant pas d'interface et son lancement n'est possible que par le biais d'un logiciel d'interprétation de code Python. Une fois le code source ouvert, il faut le lancer depuis une des options de ces logiciels de traitement, ce qui empêche le programme d'être vraiment immersif et accessible.

Un programme annexe a donc été développé pour matérialiser une petite interface d'accueil permettant de lancer l'expérience de simulation (*launcher*). Ce petit fichier exécutable facilite la prise en main du programme et permet de le lancer de façon plus intuitive.

Très simple en l'état, cet écran d'accueil pourra être agrémenté par d'autres fonctionnalités comme l'apparition d'une fenêtre pour effectuer une calibration oculométrique directement depuis le programme sans passer par l'utilitaire de Tobii "Tobii Pro Manager".

Deux boutons réactifs au survol de la souris (*responsive*) ont été codés pour lancer l'expérience ou fermer la fenêtre sans passer par le code source, peu accueillant pour un utilisateur.

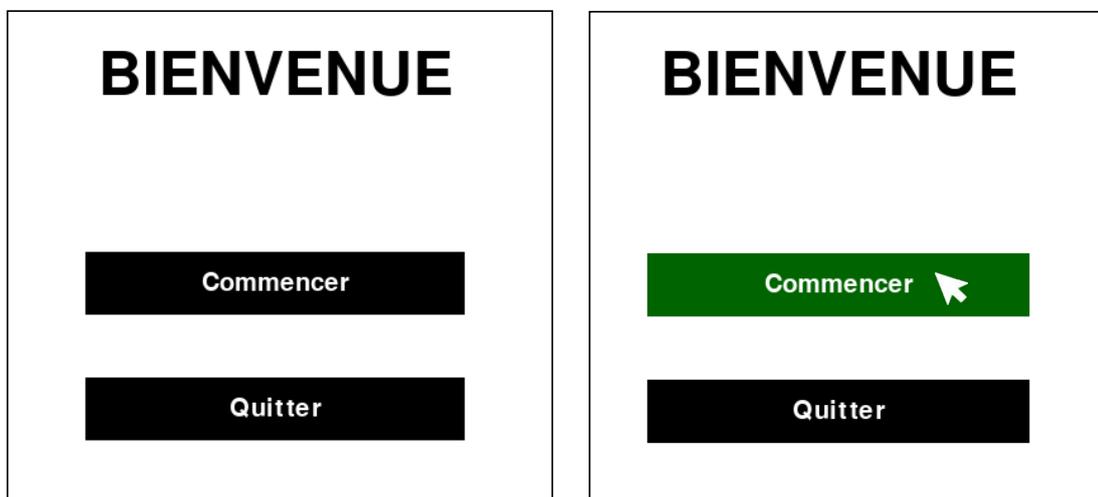


Figure 64. BOURDA Raphaël : Aperçu de l'interface de base du launcher, capture d'écran, 2024.

Voici le code associé :

```
1 import pygame
2 import sys
3 import subprocess
4
5 # Initialisation de pygame
6 pygame.init()
7
8 # Couleurs
9 WHITE = (255, 255, 255)
10 RED = (255, 0, 0)
11 GREEN = (0, 255, 0)
12 BLACK = (0, 0, 0)
13
14 # Polices de texte
15 font_large = pygame.font.Font(None, 70)
16 font_small = pygame.font.Font(None, 25) # Nouvelle police de taille 12
17
18 class Button:
19     def __init__(self, text, width, height, pos):
20         self.text = text
21         self.width = width
22         self.height = height
23         self.pos = pos
24         self.rect = pygame.Rect(pos, (width, height))
25         self.font = pygame.font.Font(None, 30)
26         self.hovered = False
27         self.clicked = False
28         self.color = (0, 0, 0)
29         self.text_color = (255, 255, 255)
30
```

```

30
31 def draw(self, screen):
32     # Changer la couleur lorsque survolé
33     if self.hovered:
34         self.color = (0, 100, 0)
35     else:
36         self.color = (0, 0, 0)
37
38     pygame.draw.rect(screen, self.color, self.rect)
39     text_surface = self.font.render(self.text, True, self.text_color)
40     text_rect = text_surface.get_rect(center=self.rect.center)
41     screen.blit(text_surface, text_rect)
42
43 def update(self, event):
44     if event.type == pygame.MOUSEMOTION:
45         # Vérifier si la souris survole le bouton
46         if self.rect.collidepoint(event.pos):
47             self.hovered = True
48         else:
49             self.hovered = False
50
51     elif event.type == pygame.MOUSEBUTTONDOWN:
52         # Vérifier si le bouton est cliqué
53         if self.hovered:
54             self.clicked = True
55         else:
56             self.clicked = False
57
58 # Taille de la fenêtre
59 WINDOW_SIZE = (1920, 1080)
60 screen = pygame.display.set_mode(WINDOW_SIZE)
61 pygame.display.set_caption("Menu")
62
63 # Création des boutons
64 button_commencer = Button("Commencer", 300, 50, (810, 500))
65 button_quitter = Button("Quitter", 300, 50, (810, 600))
66
67 def draw_text(text, color, x, y, font):
68     text_surface = font.render(text, True, color)
69     text_rect = text_surface.get_rect(center=(x, y))
70     screen.blit(text_surface, text_rect)
71
72
73 running = True
74 while running:
75     screen.fill((255, 255, 255))
76     draw_text("BIENVENUE", BLACK, WINDOW_SIZE[0] // 2, WINDOW_SIZE[1] // 3, font_large)
77     draw_text("Raphael Bourda - PPM Bêta version - 2024", BLACK, 9*WINDOW_SIZE[0]//10, 19*WINDOW_SIZE[1]//20, font_small)
78     for event in pygame.event.get():
79         if event.type == pygame.QUIT:
80             running = False
81
82     # Mettre à jour l'état des boutons
83     button_commencer.update(event)
84     button_quitter.update(event)
85
86     # Dessin des boutons
87     button_commencer.draw(screen)
88     button_quitter.draw(screen)
89
90     # Actualisation de l'affichage
91     pygame.display.flip()
92
93     # Actions des boutons
94     if button_commencer.clicked:
95         subprocess.run(["python", "experimental_lissage.py"])
96         print("Commencer")
97         button_commencer.clicked = False
98     elif button_quitter.clicked:
99         print("Quitter")
100         running = False
101         button_quitter.clicked = False
102
103 pygame.quit()
104 sys.exit()
105

```

Figure 65. BOURDA Raphaël : Code Python du launcher, capture d'écran IDLE 2024.

3 - APPLICATIONS DANS LES ARTS

La proposition de simulation qui a été avancée et réalisée dans ce mémoire est un modèle expérimental qui sollicite davantage de mécanismes techniques et scientifiques que d'enjeux d'expression artistique.

Néanmoins, lorsqu'un dispositif comme celui qui a été mis en place devient exploitable, une porte s'ouvre vers un nouveau mode d'expression qui associe différents langages formels, inspiré par la perception synesthésique.

Il devient intéressant de se demander comment cette solution de simulation pourrait permettre de porter un nouveau regard sur les oeuvres que nous avons l'habitude de n'appréhender qu'avec nos yeux et nos propres perceptions. Et par extension, s'il deviendrait alors possible d'adresser une oeuvre à une personne synesthète en utilisant la caractérisation de ses propres associations.

3.1) PORTER UN NOUVEAU REGARD

Si l'on sort la simulation oculométrique interactive du contexte expérimental et technique qui a encadré sa mise en oeuvre, les applications dans le monde de l'art semblent pouvoir donner une toute autre profondeur à la découverte de la singularité du regard des autres.

Il semblerait tout à fait envisageable de déporter le dispositif de l'ordinateur qui accueille le programme pour le positionner sous une oeuvre physique, un tirage d'art exposé, ou une peinture encadrée, moyennant une modification du code pour faire correspondre les coordonnées du regard mesuré à des points de l'oeuvre affichée.

Ainsi, le public et les artistes eux-mêmes pourraient découvrir de nouvelles lectures artistiques, d'abord provoquées par des différences de perception chez les personnes synesthètes, jusque-là inaccessibles.

Alors que la recherche liée à ce mémoire touche à sa fin, en mai 2024, La Fondation Louis Vuitton accueille dans le seizième arrondissement de Paris une exposition rétrospective de l'oeuvre de l'artiste américain Ellsworth Kelly (1923-2015), considéré comme l'un des plus importants peintres et sculpteurs abstraits du XX^e siècle aux États-Unis.

Célébrant le centenaire de la naissance de l'artiste né en 1923, l'exposition *Formes Et Couleurs, 1949-2015* regroupe plus d'une centaine de pièces issues de prêts internationaux provenant d'institutions comme l'Art Institute of Chicago, Museum of Modern Art New-York (MoMA), San Francisco Museum of Modern Art, Tate Museum, et de collections privées.

Ellsworth Kelly

FORMES ET COULEURS. 1949-2015

H
A
Z
A
N



Comme le nom de l'exposition le laisse à penser, l'oeuvre de l'artiste s'inscrit pour une grande partie dans le périmètre des associations intermodales (formes et couleurs) qui ont été caractérisées et simulées à partir de la perception du sujet synesthète volontaire. Il devient alors tout à fait envisageable d'adapter la simulation produite aux différentes pièces exposées et d'en proposer une lecture nouvelle, mêlant la peinture minimaliste du mouvement « *Color Field Painting*¹ » et la composition sonore et musicale.

FONDATION LOUIS VUITTON

Figure 66. Fondation Louis Vuitton : Couverture du catalogue français de l'exposition "Ellsworth Kelly. Formes et Couleurs, 1949-2015" présentée à la Fondation Louis Vuitton du 4 mai au 9 septembre 2024, librairie en ligne de la Fondation Louis Vuitton, 25x30 cm, 306 pages, 2024.

Dans cette perspective, l'oeuvre *Sanary* produite par l'artiste en 1952 s'avère particulièrement intéressante. Visible temporairement lors de cette exposition à Paris, elle représente une grille de 42 carrés colorés agencés en 6 lignes et 7 colonnes sur un support en bois de 130 par 152 cm.

1 - Le courant "Color Field Painting" est un mouvement né aux États-Unis dans les années 1940 qui se caractérise en peinture par de grands aplats de couleurs. Les formes ainsi produites s'affranchissent de tout contexte figuratif ou objectif et font de la couleur le sujet principal de l'expression artistique, au-delà du message que celle-ci pourrait permettre de véhiculer.

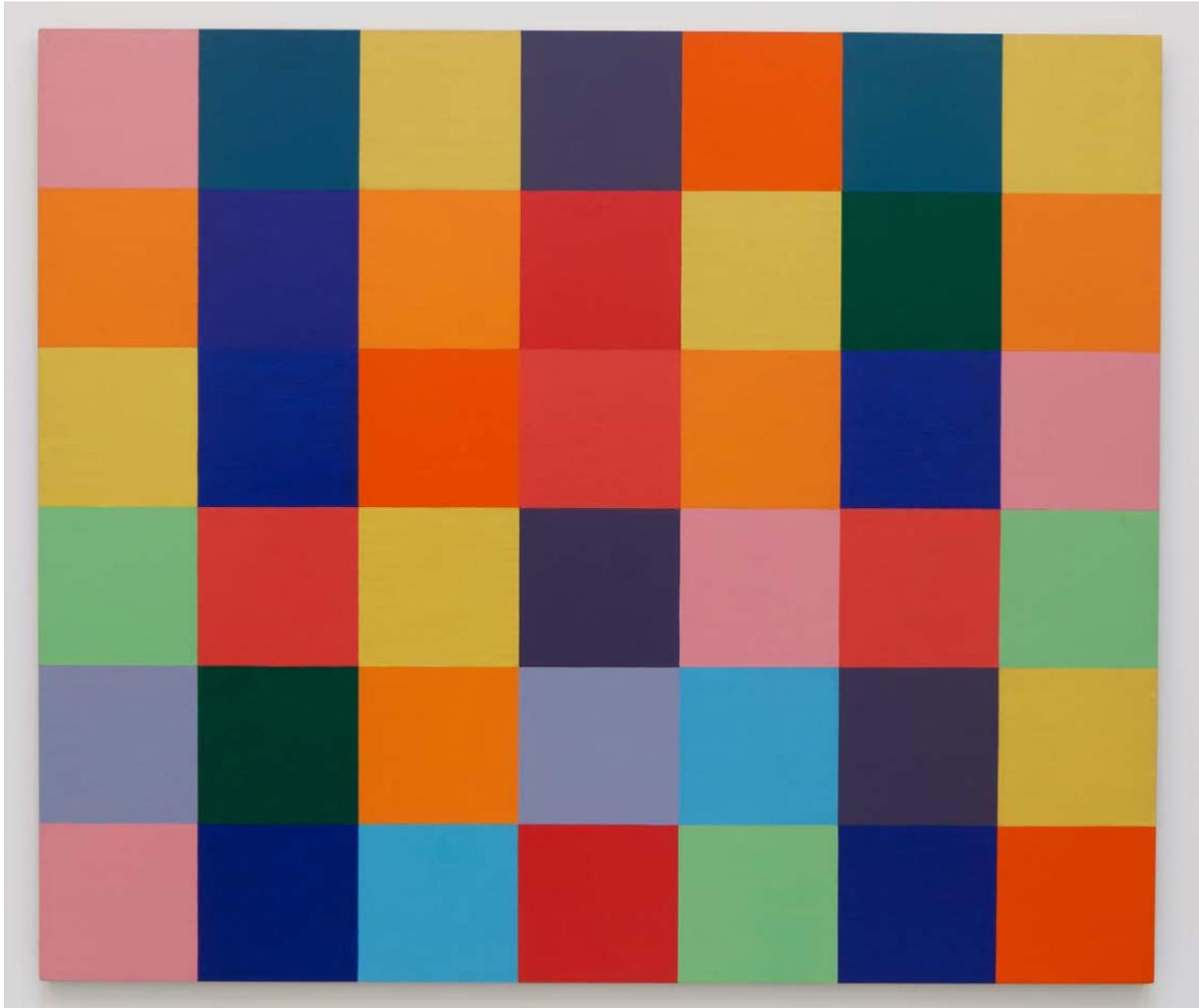


Figure 67. KELLY Ellsworth : *Sanary*, Huile sur bois, 130 x 152cm, Collection of Robert and Marguerite Hoffman, 1952.

Avec la simulation synesthésique qui a été produite, l'oeuvre se transformerait en un véritable clavier musical composé de carrés qui induisent chez le sujet synesthète étudié, un timbre similaire à un mantra chanté dans des conditions de réverbération sonore, selon des hauteurs de notes variant d'une couleur à une autre. Quelle aurait été la réaction de l'artiste en découvrant ces nouvelles perspectives, façonnant la réception de son oeuvre ? Et si certaines couleurs étaient particulièrement dissonnantes et forçaient le regard du spectateur synesthète à suivre une trajectoire différente de celui du non synesthète ?

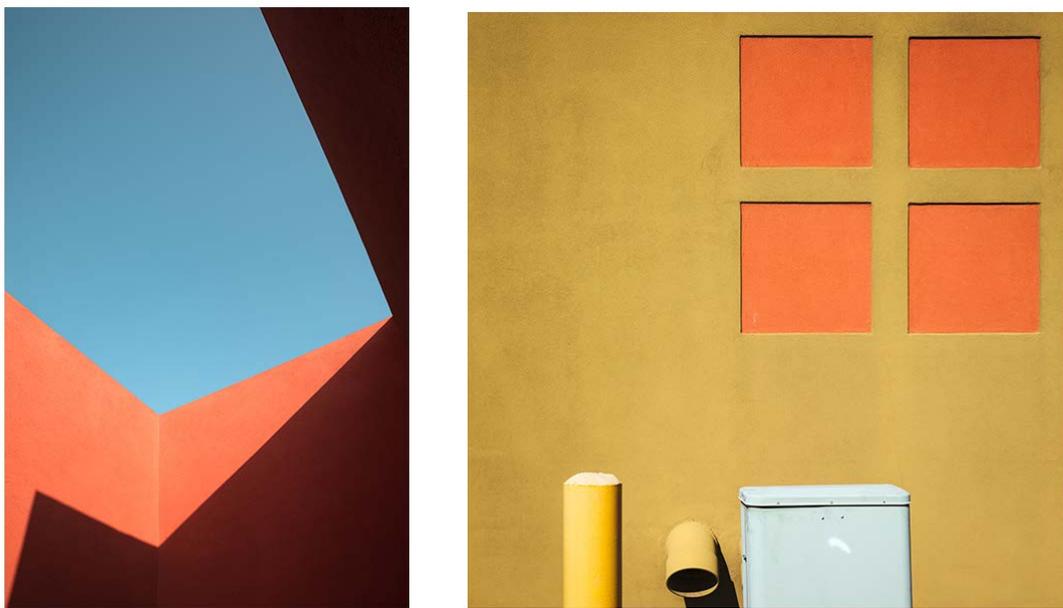
Ces questions pourraient faire le sujet de nouvelles études menées sur la base d'une adaptation de la solution de simulation, mise en place dans ce mémoire.

Sur le même principe et en suivant les mêmes fondements, d'autres exemples d'oeuvres peuvent devenir des compositions hybrides entre objets visuels et créations sonores, en se basant sur les mêmes associations intermodales précédemment caractérisées.

Parmi elles, il est possible de citer les marais salants géométriques et colorés composant l'oeuvre du photographe canadien David Burdeny, ou les abstractions architecturales formelles du photographe américain Johnny Kerr.



Figures 68, 69, 70. BURDENY David : *SALT : Fields, Plottings and Extracts*, série de photographies numériques, 2015. De gauche à droite: - Saltern Study 12, Great Salt Lake, UT, 2015
- Pink Pools, Hut Lagoon, Western Australia, 2015
- Saltern Study 14, Great Salt Lake, UT, 2015.



Figures 71, 72. KERR Johnny : *Sans Nom*, The Shoutout series, photographies numériques, 2020.

3.2) ADRESSER DES CODES À PARTIR D'ASSOCIATIONS INTERMODALES

Produire des oeuvres à partir d'associations intermodales représente le quotidien de beaucoup d'artistes synesthètes qui s'inspirent des signaux induits par ce trait neurologique dans leur cerveau pour délivrer un message, représenter leur vision du monde et externaliser la singularité de leur perception.

Lorsque les associations intermodales d'une personne synesthète sont caractérisées, il devient possible de procéder au mécanisme inverse et de créer une oeuvre sur-mesure en tenant compte des connexions qui relient leurs modalités sensorielles. Une analogie est possible avec les théories¹ d'interprétation du langage qui définissent la *déverbalisation* comme la compréhension d'un langage par la transformation du contenu grâce à une représentation différente ainsi que la *reverbération* comme l'expression interprétée dans la langue cible.

Dans l'exemple des associations entre la vision et l'audition, traité dans ce mémoire, ce principe permettrait de composer de la musique en remplaçant les partitions et les tablatures musicales par des éléments visuels, des formes, des couleurs ou des textures. Voici un exemple très simple d'une conversion visuelle pour Daniela UHL. Les couleurs composent ici les premières notes de la chanson française très populaire *Au clair de la lune*. Ces correspondances pourraient être utilisées par un artiste souhaitant créer une composition visuelle à partir de ces équivalences synesthésiques entre la couleur et la fréquence d'un son, pour adresser une composition à Daniela selon ses propres associations.

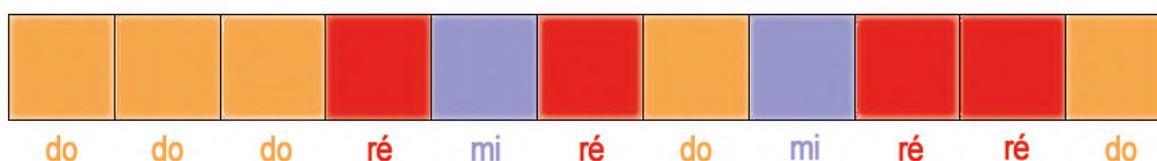


Figure 73. BOURDA Raphaël : *Conversion des 11 premières notes de la chanson "Au clair de la lune" en composition visuelle colorée à partir des associations du sujet synesthète sur l'octave 4, 2024.*

Ces jeux de correspondances - permises ici par une détermination d'associations synesthésiques - peuvent faire l'objet de projets plus radicaux qui ne concernent pas nécessairement la synesthésie.

L'artiste britannique Neil Harbisson a été rendu connu pour sa faculté à entendre la couleur, bien qu'il ne soit pas synesthète. Il naît en 1982 avec une dyschromatopsie totale, appelée

1 - Laurent BÉGHIN, Svetlana VOGEELEER, "Introduction : Déverbaliser - reverbération", dans *Déverbaliser - reverbération : la traduction comme acte de violence ou comme manipulation du sens ?*, 2020, Presses universitaires Saint-Louis, Bruxelles, 254 pages.

achromatopsie. Cette maladie du système visuel due à un dysfonctionnement des cônes¹ entraîne une absence totale de vision des couleurs. Neil Harbisson voit donc le monde qui l'entoure en nuances de gris. En 2003, lors d'une conférence sur la cybernétique (science des communications et de la régulation entre le monde vivant et celui des machines), il rencontre Adam Montandon qui est alors étudiant à l'Université de Plymouth en Angleterre. Ensemble, ils développent un dispositif qu'ils appellent *L'Antenne* et qui permet, au moyen d'une caméra au-dessus de la tête du sujet, de rendre la faculté de discriminer les couleurs. Neil Harbisson devient alors la première personne de l'Histoire à posséder un dispositif électronique de ce type dans le cerveau, faisant de lui une figure du transhumanisme.



Lorsqu'une couleur est perçue par la caméra, *L'Antenne* génère une fréquence sonore associée. L'artiste mémorise alors les équivalences et devient capable pour la première fois de reconnaître les couleurs. En 2007, le dispositif est mis à jour et affiné par l'intégration de paramètres de saturation, lui permettant de dissocier plusieurs centaines de nuances colorées.

Figure 74. LIM Kathy Anne : *Portrait de Neil Harbisson pour l'article "La technologie ne m'intéresse que pour me connecter à la nature" : rencontre avec Neil Harbisson, pionnier du cyborg art de Maxime Delcourt, dans Fisheye Immersive, Août 2023*

L'artiste transforme sa particularité en mode d'expression unique et innovant et développe une série de projets artistiques. Parmi ses créations, *les tableaux sono-chromatiques* sont probablement les plus connues. À partir des associations intermodales programmées dans la puce de son dispositif et de la musique qu'il pratique depuis son enfance, il entreprend la composition de morceaux en remplaçant les partitions traditionnelles par des tableaux colorés.

PURE SONOCHROMATIC SCALE		
(invisible)	Ultraviolet	Over 717.591 Hz
	Violet	607.542 Hz
	Blue	573.891 Hz
	Cyan	551.154 Hz
	Green	478.394 Hz
	Yellow	462.023 Hz
	Orange	440.195 Hz
	Red	363.797 Hz
(invisible)	Infrared	Below 363.797 Hz

SONOCHROMATIC MUSIC SCALE (basic 12/360)		
	Rose	E
	Magenta	D#
	Violet	D
	Blue	C#
	Azure	C
	Cyan	B
	Spring	A#
	Green	A
	Chartreuse	G#
	Yellow	G
	Orange	F#
	Red	F

Figure 75. WikiCommons : *Harbisson's Sonochromatic Scales, 2011*

¹ Les cônes sont des cellules de la rétine responsables de la vision des couleurs. Le schéma de l'oeil et le principe du fonctionnement de la vision humaine sont rappelés en annexes, page 116.

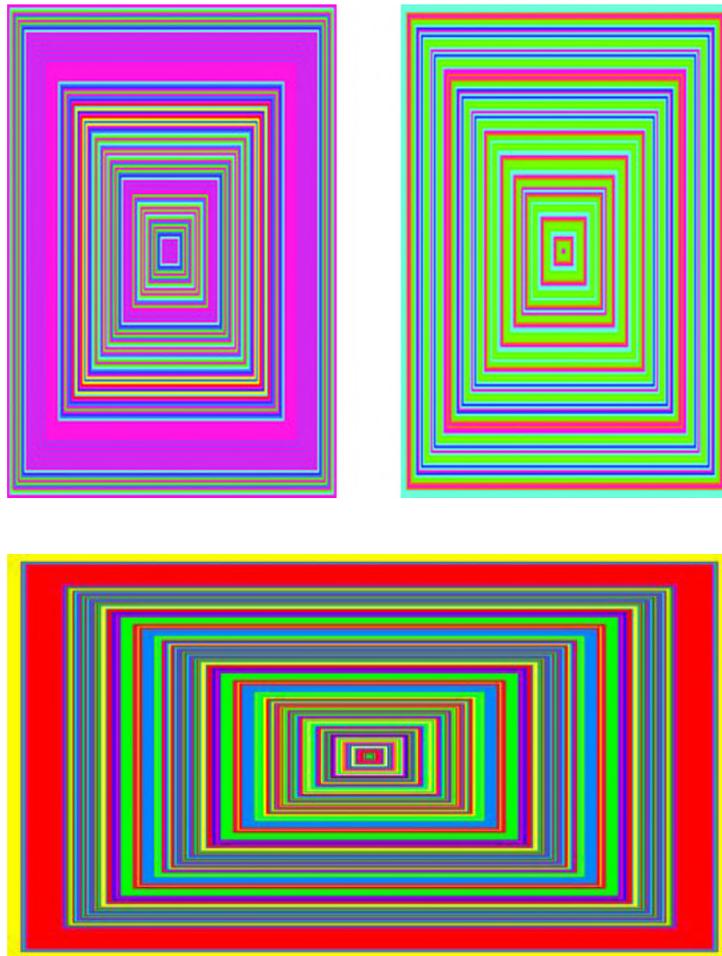


Figure 76. HARBISSON Neil : Sans nom, extraits des *tableaux sono-chromatiques* (2005-2010).

En se servant de son dispositif, Neil Harbisson produit des oeuvres basées sur d'importantes associations intermodales qui reprennent certains aspects de la synesthésie, notamment dans ses aspects automatiques et systématiques. N'étant pas provoquées par un phénomène neurologique, nous ne pouvons pas parler de synesthésie dans le cas des connexions entre les éléments visuels et sonores qu'il utilise, mais sa démarche d'expression intermodale pourrait motiver ou inspirer d'autres créations, basées sur un dispositif de simulation comme celui qui a été pensé pour la recherche de ce mémoire.

CONCLUSION

La synesthésie est un phénomène neurologique complexe qui mobilise encore aujourd'hui de grands efforts de recherche au sein d'une communauté scientifique internationale avec laquelle j'ai eu la chance d'échanger et que j'ai pu rencontrer tout au long de cette étude, notamment lors d'un évènement majeur que l'Université d'Oxford a accueilli en Angleterre sur plusieurs jours, au printemps 2024.

Si la synesthésie est particulièrement étudiée sous des angles médicaux, psychologiques, cliniques et génétiques, le pont qui a été créé entre ces sciences et le champ des images dans le cadre de ce mémoire s'est avéré être particulièrement intéressant pour la grande interdisciplinarité qu'il a impliqué. Perception, psychoperception, optique et oculométrie, neurosciences, imagerie médicale, ingénierie de la recherche, enquête sociologique, programmation, production visuelle, conception 3D et expérimentations perceptives et cognitives sont autant de champs qui ont été croisés dans le cadre de cette étude et autant de corps professionnels qui ont été sollicités pour collaborer.

L'observation des phénomènes synesthésiques grâce à l'imagerie médicale, les témoignages recueillis auprès d'individus concernés et l'analyse des données ainsi collectées permettent à un public non synesthète de mieux se représenter les caractéristiques inhérentes à de telles singularités, en matière de perception. Le grand public mais aussi les artistes et leurs spectateurs doivent être conscients de l'ampleur des différences individuelles qui peuvent faire varier la réception d'une oeuvre d'un point de vue perceptif et sensoriel, avant même que puissent différer nos analyses et nos interprétations.

Dans le prisme de la réception et de la perception des images, une volontaire synesthète possédant d'importantes associations entre la vision et l'audition a accepté de collaborer en devenant le sujet principal d'un projet expérimental visant à externaliser ces phénomènes pour les rendre accessibles. Si les artistes synesthètes s'inspirent très fréquemment de leurs correspondances intermodales pour enrichir le fruit de leur expression artistique, il est désormais possible de poser un regard sur la singularité avec laquelle ils perçoivent certains

éléments visuels, grâce à la simulation. En définissant un périmètre d'étude et en choisissant un profil synesthète, une caractérisation de ses connexions systématiques, automatiques et involontaires peut être effectuée selon le processus qui a fait l'objet de la recherche de ce mémoire.

Néanmoins, en raison de la grande variation interindividuelle qui caractérise ces phénomènes neurologiques, la mise en place d'une solution générique ne semble pour l'instant pas envisageable et chaque étude doit être menée au cas par cas.

Les périmètres d'études pourraient également être moins serrés que celui qui a encadré ce mémoire. Partant de rien, un effort et un temps de recherche importants ont été consacrés à la mise au point d'un protocole - le plus pertinent possible - et d'un dispositif, tous deux fonctionnels. La solution ainsi proposée pourrait être la base de nouvelles études ou de nouvelles applications aussi bien dans les champs artistiques que scientifiques.

Plusieurs itérations du même processus seraient intéressantes à mener sur un échantillon plus large de profils. Elles permettraient sans nul doute de faire état de la grande diversité qui différencie les associations des différents individus synesthètes entre eux.

Pensant que le fait de ne pas être synesthète pouvait constituer un frein pour entreprendre un projet lié à des phénomènes qui échappent à ma propre expérience, j'ai été surpris de constater le fonctionnement inverse. L'absence d'associations intermodales pour la personne qui conduit le programme de recherche semblerait permettre d'éviter certains biais ou conflits entre les connexions étudiées chez une tierce personne et les associations que l'on pourrait posséder soi-même. Il convient cependant de prendre un maximum de précautions pour ne pas avoir la sensation de comprendre et de se représenter parfaitement l'intégralité des phénomènes et des enjeux liés à la synesthésie, sans ne les avoir jamais vécus. Cela permet de conserver un esprit critique, de rester proche des individus concernés pour ne pas mener des analyses à partir de sa propre intuition, et ainsi d'éviter *l'effet de surconfiance*, aussi appelé *effet Dunning-Kruger*. Ce mécanisme cognitif, mis en avant par les psychologues américains David Dunning et Justin Kruger en 1999, décrit une relation entre la connaissance que l'on possède d'un sujet et la confiance que nous avons à en parler. En d'autres termes, ce biais

peut prendre la forme d'une courbe associant « combien on pense en savoir » et « combien on en sait vraiment ». Elle montre un vrai déséquilibre entre les premières connaissances acquises et une confiance qui monte en flèche, lorsque l'on commence à comprendre certains mécanismes et fonctionnements liés à un sujet quel qu'il soit.

Par ailleurs, il est possible de faire un rapprochement entre les caractérisations qui ont permis de déterminer les associations intermodales d'une personne synesthète et « le décodage » d'un langage sensoriel qui lui est propre. À partir de là, il serait intéressant de renverser le mécanisme en faveur d'une création artistique prenant en compte les modalités perceptives de cette même personne afin de composer une oeuvre qui lui serait directement adressée.

Enfin, il est essentiel de souligner que cette étude est une simulation réalisée dans un cadre expérimental restreint. Elle rend compte avec précision de certains aspects de la perception du sujet, mais ne pourrait prétendre en offrir une représentation exacte, risquant alors de négliger toute la complexité de la synesthésie et de ses enjeux.

Bibliographie

NEUROSCIENCES, PSYCHOLOGIE ET SCIENCES SOCIALES

Thèses - Mémoires - Travaux de recherche non édités

DAY Sean A., *Trends in Synesthetically Colored Graphemes and Phonemes*, Recherche auto-publiée, Caroline du Nord (USA), Trident Technical College, révision 2004 [2003], 39 p.

GARNIER Marie-Margeride, *La Synesthésie chez l'enfant : prévalence, aspects développementaux et cognitifs*, Thèse de doctorat en Psychologie (sous la direction de GUIDETTI Michèle et HUPÉ Jean-Michel), Toulouse, Université Jean-Jaurès, 2016, 353 p.

RUIZ Mathieu, *Codage cortical de la synesthésie graphème-couleur*, Thèse de doctorat en Neurocognition (sous la direction de DOJAT Michel), Grenoble, École doctorale Ingénierie pour la Santé, la Cognition, l'Environnement, 2014, 258 p. + annexes.

Ouvrages

CAVALLARO Dani, *Synesthesia and the Arts*, McFarland & Co Inc, Gloucestershire (UK), 2013, 213 p.

CYTOWIC Richard E., *Synesthesia: A union of the senses, 2nd ed.*, Cambridge, The MIT Press, 2002, 394 p. [Première édition : Springer-Verlag New York Inc., 1989, 368 p.]

CYTOWIC Richard E., EAGLEMAN David M., *Wednesday Is Indigo Blue - Discovering the Brain of Synesthesia*, Cambridge, The MIT Press, 2011, 320 p.

ROBERTSON Lynn C., SAGIV Noam, *Synesthesia: Perspectives from Cognitive Neuroscience*, Oxford University Press, 2004, 304 p.

ROGOWSKA Aleksandra Maria, *Synaesthesia and individual differences*,
Cambridge University Press, 2015, 234 p.

SIMNER Julia, Hubbard Edward Michael, *The Oxford Handbook of Synesthesia*,
Oxford University Press, Décembre 2013, 1104 p.

Publications et Articles de Recherche - Revues scientifiques

BRANG David, RAMACHANDRAN Vilayanur S., « Survival of the Synesthesia Gene: Why Do People Hear Colors and Taste Words? », dans *PLOS Biology*, Novembre 2011, Public Library of Science.

BARON-COHEN Simon, JOHNSON Donielle, ASHER Julian E., WHEELWRIGHT Sally, FISHER Simon E., GREGERSEN Peter K., ALLISON Carrie, « Is synaesthesia more common in autism? », dans *Molecular Autism*, Novembre 2013, Vol.4, n°1, Londres, BioMed Central.

BÉGHIN Laurent, VOGELEERSvetlana, « Introduction : Déverbaliser-reverbaliser », dans *Déverbaliser - reverbaliser : la traduction comme acte de violence ou comme manipulation du sens ?*, 2020, Presses universitaires Saint-Louis, Bruxelles, 254 pages.

CALKINS Mary Whiton, « A Statistical Study of Pseudo-Chromesthesia and of Mental-Forms », dans *The American Journal of Psychology*, 1893, n°4, Vol. 5, University of Illinois Press pp. 439-464

CASPER Émilie A., KOLINKSI Régine, «Revue d'un phénomène étrange : La Synesthésie» dans *L'Année Psychologique*, 2013/4, Vol.113, Presses Universitaires de France, pp. 629-666

CUSKLEY Christine, DINGEMANSE Mark, KIRBY Simon, VAN LEEUWEN Tessa M., « Cross-modal associations and synesthesia : Categorical perception and structure in vowel-color mappings in a large online sample”, dans *Behavior*

Research Methods, n°4, 2019, Berlin (Allemagne) p. 1651-1675.

DAY Sean A., JEWANSKI Jörg, WARD Jamie, « A colorful albino : the first documented case of synesthesia, by Georg Tobias Ludwig Sachs in 1812 », in *Journal of the History of the Neurosciences*, Vol.3, n°18, 2009, United Kingdom, Psychology Press, pp. 293-303.

HUBBARD Edward Michael, « Neurophysiology of synesthesia » dans *Current Psychiatry Reports*, 2007, n°3, Vol.9, 2007, Edition O. FRIEDEL & EVANS Dwight L., pp. 193-199.

HUBBARD Edward Michael, RAMACHANDRAN Vilayanur S., « Neurocognitive Mechanisms of Synesthesia » dans *Neuron*, 2005, n°48, USA, Cell Press & Elsevier, pp. 509-520

LAMBERT Hervé-Pierre, « La synesthésie : une révolution neurologique et culturelle » dans CATHIARD Marie-Agnès, PAJON Patrick, *Iris - Les Imaginaires du cerveau (deux)*, Juin 2015, n°36, Centre de Recherche sur l'Imaginaire - Université de Grenoble, pp. 63-83.

NIKOLIC Danko, SINGER Wolf, VAN LEEUWEN Tessa M., « The Merit of Synesthesia for Consciousness Research », dans *Frontiers in Psychology*, Volume 6, Article 1850, 2015, Suisse, Frontiers Media.

NUGENT Max, WARD Jamie, « Familial aggregation of synaesthesia with autism (but not schizophrenia) », dans *Cognitive Neuropsychiatry*, n°27, 2022, London (UK), Routledge, pp. 373-391.

SIMNER Julia, « Synesthesia », dans *Encyclopedia of Human Behavior : Second Edition*, 2012, California, USA, Academic Press, pp.571-577 [1st. Edition 1994]

HUTH Alexander G., JAIN Shailee, LEBEL Amanda, TANG Jerry, « Semantic reconstruction of continuous language from non-invasive brain recordings », dans *Nature Neurosciences*, n°26, 2023, Texas, USA, Nature Research Ed, pp.858-866.

SYNESTHÉSIE ET ARTS

Sources Internet

GROSS Veronica, *Synesthesia Project*, Foire Aux Questions (FAQ) sur la du Dr. Veronica Gross, Université de Boston (PhD neurosciences):

<https://www.bu.edu/synesthesia/faq/>

Articles

LAMBERT Hervé-Pierre, « La Synesthésie : Vues de l'intérieur », dans *Revue Épistémocritique*, Printemps 2011, Vol.8 :

<https://epistemocritique.org/la-synesthesie-vues-de-linterieur/>

URIST Jacoba Urist, « Why Do So Many Artists Have Synesthesia? », dans *Magazine The Cut*, juillet 2016, New York Magazine

DÉVELOPPEMENT DISPOSITIF - CODE ET OCULOMÉTRIE

Publications

BOWMAN Richard, FOSTER Allen, « Examen du reflet pupillaire » dans *Revue de Santé Oculaire Communautaire*, Novembre 2021, Vol. 18, n°25, pp 14, d'après AINSWORTH J.R., « See RED », poster produit par UK National Retinoblastoma Service, Birmingham, Angleterre, et par l'organisation nationale de soutien

CHECT (Childhood Eye Cancer Trust), [Première édition : *Revue de Santé Oculaire Communautaire*, 2011, vol 8, n°10].

Ressources Numériques

GNEO Massimo, SCHMID Maurizio, CONFORTO Silvia, D'ALESSIO Tommaso,
« A free geometry model-independent neural eye-gaze tracking system », dans
Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, 2
012, n°9, Art.82, BioMed Central.

Python Software Foundation, *Plateforme et Documentation*:

<https://www.python.org/doc/>

Tobii Technology, *Tobii Pro SDK Documentation*, Version 1.11.0, Mars 2023
[fréquemment mise à jour depuis la Version 1.0 en 2017] :

<https://developer.tobii.com/python.html>

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1. NEIVA Miguel : *ColorADD, système d'identification des couleurs pour les populations daltoniennes*, visuel infographique, 2012.

Figure 2. ESRI : *Outil de simulation de la vision daltonienne dans le cadre de l'édition de cartes*, captures d'écran, 2024.

Figure 3. BOURDA Raphaël : *Formulaire de contact pour la recherche de profils synesthètes*, capture d'écran d'un lien temporaire, 2024.

Figure 4. BOURDA Raphaël : *Répartition géographique des profils synesthètes recensés (base de données)*, planisphère légendé, 2024.

Figure 5. BOURDA Raphaël : *Base de données de l'échantillon synesthète recensé et anonymisé*, captures d'écran à partir du logiciel Notion, Notion Labs Inc, 2024.

Figure 6. BOURDA Raphaël : *diagramme issu d'enquêtes et d'analyses personnelles*, 2024.

Figure 7. BOURDA Raphaël : *diagramme issu d'enquêtes et d'analyses personnelles*, 2024.

Figures 8, 9, 10, 11, 12. BOURDA Raphaël : *diagrammes issus d'enquêtes et d'analyses personnelles*, 2024.

Figure 13. BOURDA Raphaël, *plateau IRMf du ToNIC, INSERM, Site hospitalier de Purpan, Toulouse*, photographie numérique, 2024.

Figure 14. BOURDA Raphaël : *Schéma simplifié des échanges permettant la mise en évidence d'un contraste fonctionnelle en IRMf*, 2024.

Figure 15. BOURDA Raphaël : *Lettres écrites en noir perçues par une personne non synesthète et par Maïke PREIßING*, visuel d'illustration, 2024.

Figure 16. BOURDA Raphaël : *diapositives extraites d'un diaporama comportant les stimuli. Sur la première ligne, des*

stimuli liés à un phénomène synesthésique.

Sur la deuxième ligne, des stimuli non liés, 2024.

Figures 17, 18. BOURDA Raphaël : *visuels des manipulations réalisées le 7 mai 2024 au ToNIC (INSERM), Pavillon Baudot, CHU de Purpan, Toulouse*, photographies numériques, 2024.

Figure 19. BOURDA Raphaël : *visuel de manipulation réalisée le 7 mai 2024 au ToNIC (INSERM), Pavillon Baudot, CHU de Purpan, Toulouse*, photographies numériques, 7 mai 2024

Figure 20. ToNIC, pour Raphaël Bourda : *acquisitions anatomiques de centrage préalable (T1_3D) du sujet synesthète. À gauche, coupe sagittale. À droite, coupe coronale. Réalisées au ToNIC (INSERM), Pavillon Baudot, CHU de Purpan, Toulouse, Imageries par Résonance Magnétique (IRM), 7 mai 2024.*

Figure 21. Dr. CARMICHAEL Duncan A. / ToNIC / BOURDA Raphaël : *compilation des images structurales du cerveau du sujet synesthète (PREIßING Maïke) avant analyse, rendu 3D, SPM Matlab, 2024.*

Figure 22. Dr. CARMICHAEL Duncan A. / ToNIC / BOURDA Raphaël : *résultats d'IRMf obtenus après traitement pour le sujet non synesthète (control test) en haut et le sujet synesthète en bas, SPM Matlab, 2024.*

Figure 23. Institut Français de l'Éducation (IFE), ENS Lyon, Plateforme ACCES : *aires visuelles humaines, face interne (neurosciences, Purves), 2018.*

Figure 24. Dr. CARMICHAEL Duncan A. / ToNIC / BOURDA Raphaël : *résultats d'IRMf obtenus après traitement pour le sujet synesthète avec un marqueur sur V4 et projection sur les images structurales, SPM Matlab, 2024.*

Figure 25. DAY Sean A. : *Répartition des associations graphèmes-couleurs pour les lettres A (n=202), I (n=166) et U (n=165), d'après Trends in Synesthetically Colored Graphemes and Phonemes -- 2004 revision , p 5-36.*

Figure 26. BOURDA Raphaël : *Boucle de confirmation permise par la caractéristique bilatérale de la synesthésie de Daniela UHL (sujet de l'étude) pour la caractérisation des associations synesthésiques*, schéma, 2024.

Figure 27. BOURDA Raphaël : *Reflet cornéen immobile lorsque le regard se déplace (rotation du globe oculaire)*, schéma simplifié, 2024.

Figure 28. BLIGNAUT Peter : *Article Mapping the pupil-glint vector to gaze coordinates*, photographies numériques, 2014.

Figure 29. Tobii : *Tobii Pro Nano screen-based eyetracker*, visuel commercial.

Figure 30. Tobii : *Résultat de Calibration*, SDK Documentation.

Figure 31. Tobii : *User Coordinates System*, SDK Documentation.

Figure 32. Tobii : *Active Display Coordinates System*, SDK Documentation.

Figure 33. BOURDA Raphaël : *Test préliminaire du fonctionnement du programme en temps réel*, capture d'écran de code Python, 2024.

Figure 34. BOURDA Raphaël : *Console IDLE Shell 3.10.0 pendant le fonctionnement du programme*, capture d'écran, 2024. [Les coordonnées (x,y) du regard basé sur l'oeil gauche défilent au fur et à mesure que l'oculomètre effectue ses mesures.]

Figure 35. BOURDA Raphaël : *Visuel affiché pour le programme test*, 2024. [Il est nommé «imagetest.png» (l.1314 du code en page suivante)].

Figure 36. BOURDA Raphaël : *Test de latence avec interprétation des mesures*, capture d'écran de code Python, 2024.

Figure 37. BOURDA Raphaël : *Implémentation d'une fonction de lissage variable*, capture d'écran de code Python, 2024

Figure 38. DELORME Nicola : Sans nom, photographie, Image Media Limited, 2024

Figure 39. BOURDIN Guy : Sans nom, The Guy Bourdin Estate, photographie couleur argentique, 1974

Figure 40. KANDINSKI Wassily : *Cercles dans un cercle*, 1923. Huile sur toile, 100x95,6cm, Philadelphia Museum of Art, USA.

Figure 41. BACKHAUS Jessica : Sans nom, photographie numérique, dans *Série Cuts Outs*, 128 pages, 50 images 2021.

Figure 42. BOURDA Raphaël : *Visuel support pour la recherche (caractérisation des associations)*, 2024.

Figure 43. BOURDA Raphaël : *Aperçu de conférence de Yi-Chuan Chen : Crossmodal Correspondences between Sounds and Shapes : Mid-Level Processing*, UKSA/ASA Synesthesia Conference, Oxford, photographie numérique, 2024.

Figure 44. BOURDA Raphaël : *Visuel support pour la recherche (caractérisation des associations)*, 2024.

Figure 45. BOURDA Raphaël : *Clavier vierge utilisé pour schématiser les associations intermodales*, 2024.

Figure 46. BOURDA Raphaël : *Session de caractérisation d'associations intermodales*, photographie numérique, Günzburg, Allemagne, 2024.

Figure 47. BOURDA Raphaël : *Représentation visuelle des correspondances intermodales fréquences/couleur pour le sujet de l'étude*, 2024.

Figure 48. BOURDA Raphaël : *Tableau des correspondances intermodales fréquences sonores/codes couleur pour le sujet de l'étude*, 2024.

Figure 49. BOURDA Raphaël : *Liste des formes dont le timbre sonore a été induit chez le sujet, par associations synesthésiques multimodales : Carré / Parallélogramme / Cercle / Triangle / Vagues / Nuage*, 2024.

Figure 50, 51, 52. BOURDA Raphaël : *Formes induites par la synesthésie chez le sujet à partir de la forme d'onde caractérisée avant et après filtrage des hautes fréquences et forme d'onde finale*, 2024.

Figure 53. UHL Daniela : *Forme induite par un timbre de porte qui grince*, dessin, 2024.

Figure 54. BOURDA Raphaël : *Forme d'onde du parallélogramme pour Daniela*, capture d'écran 2024.

Figure 55. BOURDA Raphaël : *Forme d'onde d'une cymbale avant traitement*, capture d'écran 2024.

Figure 56. BOURDA Raphaël : *Forme d'onde du cercle pour Daniela, obtenue à partir d'une cymbale après traitement*, capture d'écran 2024.

Figure 57. BOURDA Raphaël : *Forme d'onde du triangle pour Daniela après traitement*, capture d'écran 2024.

Figure 58. DOLERON : *Basic Doppler effect with moving wave source*, schema, 2012

Figure 59. BOURDA Raphaël : *Test simple de composition géométrique pour mettre à jour le programme interactif de simulation*, 2024.

Figures 60, 61. BOURDA Raphaël : *Masques PNG de traitement pour le test simple de composition géométrique visant à mettre à jour le programme interactif de simulation*, mask1.png, mask2.png, 2024.

Figure 62. BOURDA Raphaël : *Schéma d'intersection des formes sur le test simple de composition géométrique visant à mettre à jour le programme interactif de simulation*, 2024.

Figure 63. BOURDA Raphaël : *Code du programme final en Python (116 lignes)*, capture d'écran IDLE, 2024.

Figure 64. BOURDA Raphaël : *Aperçu de l'interface de base du launcher*, capture d'écran, 2024.

Figure 65. BOURDA Raphaël : *Code Python du launcher*, capture d'écran IDLE 2024.

Figure 66. Fondation Louis Vuitton : *Couverture du catalogue français de l'exposition "Ellsworth Kelly. Formes et Couleurs, 1949-2015" présentée à la Fondation Louis Vuitton du 4 mai au 9 septembre 2024*, librairie en ligne de la Fondation Louis Vuitton, 25x30 cm, 306 pages, 2024.

Figure 67. KELLY Ellsworth : *Sanary*, Huile sur bois, 130 x 152cm, Collection of Robert and Marguerite Hoffman, 1952.

Figures 68, 69, 70. BURDENY David : *SALT : Fields, Plottings and Extracts*, série de photographies numériques, 2015. De gauche à droite:

- Saltern Study 12, Great Salt Lake, UT, 2015
- Pink Pools, Hut Lagoon, Western Australia, 2015
- Saltern Study 14, Great Salt Lake, UT, 2015.

Figures 71, 72. KERR Johnny : *Sans Nom*, The Shoutout series, photographies numériques, 2020.

Figure 73. BOURDA Raphaël : *Conversion des 11 premières notes de la chanson "Au clair de la lune" en composition visuelle colorée à partir des associations du sujet synesthète sur l'octave 4*, 2024.

Figure 74. LIM Kathy Anne : *Portrait de Neil Harbisson pour l'article "La technologie ne m'intéresse que pour me connecter à la nature" : rencontre avec Neil Harbisson, pionnier du cyborg art* de Maxime Delcourt, dans Fisheye Immersive, Août 2023

Figure 75. WikiCommons : *Harbisson's Sonochromatic Scales*, 2011

Figure 76. HARBISSEON Neil : *Sans nom*, extraits des *tableaux sono-chromatiques* (2005-2010).

Figure 77. BONNET Gabrielle, CAMUS Gilles : *Schéma d'une coupe longitudinale d'œil humain*, Planet-Vie, École Normale Supérieure

Figure 78.1.2. ToNIC : *Fiches de suivi d'examen d'IRM pour le sujet synesthète et le sujet non synesthète*, 2024

Figure 79. BOURDA Raphaël : *Plateau IRMf du ToNIC (INSERM) à Toulouse. Derrière la vitre, la salle de contrôle IRM*, photographie numérique, 2024

Figures 80, 81. ToNIC, pour Raphaël Bourda : *Acquisitions anatomiques de centrage préalable (T1_3D) du sujet synesthète. En haut, coupe sagittale. En bas, coupe coronale.* ToNIC (INSERM), Pavillon Baudot, CHU de Purpan, Toulouse, Imageries par Résonance Magnétique (IRM), 7 mai 2024

Figures 82, 83. BOURDA Raphaël : *Diapositives de stimuli pour un protocole de paradigmes en blocs*, captures d'écran Power Point, 2024

Figures 84, 85, 86, 87. Dr. CARMICHAEL Duncan A. / ToNIC / BOURDA Raphaël : *Résultats obtenus après traitement pour le sujet synesthète*, capture d'écran SPM Matlab, 2024.

Figures 88, 89, 90. Dr. CARMICHAEL Duncan A. / ToNIC / BOURDA Raphaël : *Résultats obtenus après traitement pour le sujet non synesthète (control test)*, capture d'écran SPM Matlab, 2024

Figure 91. UKSA : *Somerville College à Oxford*, Angleterre, photographie numérique, sans date.

Figure 92. BOURDA Raphaël : *Badge de participant*, photographie numérique, 2024.

Figure 93. BOURDA Raphaël : *UKSA/ASA World Synesthesia Conference*, Flora Anderson Hall, Somerville College à Oxford, Angleterre, photographie numérique, 2024.

Figure 94. BOURDA Raphaël : *Flora Anderson Hall, Somerville College, Oxford, Angleterre*, photographie numérique, 2024

Figure 95. BOURDA Raphaël : *Somerville College Campus, Oxford*, Angleterre, photographie numérique, 2024

Figure 96. BOURDA Raphaël : *Posters scientifiques présentés par des étudiants doctorants (PhD) internationaux*, Oxford, Angleterre, photographie numérique, 2024

Figures 97, 98, 99, 100, 101. BOURDA Raphaël : *Aperçus des conférences respectives de Sean A. Day, George Scott, Jamie Ward, Charles Spence et Julia Simner*, Oxford, Angleterre, photographies numériques, 2024

Figure 102. BOURDA Raphaël : *Projection 3D (vue 1) légendée de l'installation envisagée dans l'espace : Le Molière, Palier Étage 1*, 40 rue de Richelieu, Paris, modélisation 3D, 2024.

Figure 103. BOURDA Raphaël : *Projection 3D (vue 2) de l'installation envisagée dans l'espace : Le Molière, Palier Étage 1*, 40 rue de Richelieu, Paris, modélisation 3D, 2024.

Figure 104. BOURDA Raphaël : *Projection 3D (plan et vue aérienne) de l'installation envisagée dans l'espace : Le Molière, Palier Étage 1*, 40 rue de Richelieu, Paris, modélisation 3D, 2024.

Figure 105. BOURDA Raphaël : *Projection 3D (vue 3) légendée de l'installation envisagée dans l'espace : Le Molière, Palier Étage 1*, 40 rue de Richelieu, Paris, modélisation 3D, 2024.

Figure 106. BOURDA Raphaël : *Projection 3D (vue 4) légendée de l'installation envisagée dans l'espace : Le Molière, Palier Étage 1*, 40 rue de Richelieu, Paris, modélisation 3D, 2024.

Figures 107, 108. ToNIC, BOURDA Raphaël : *Acquisitions anatomiques du sujet synesthète. À gauche, coupe sagittale. À droite, coupe coronale. Réalisées au ToNIC (INSERM), Pavillon Baudot, CHU de Purpan, Toulouse, Imageries par Résonance Magnétique (IRM), 7 mai 2024.*

Figures 109, 110, 111, 112. BOURDA Raphaël : *Compositions d'accords de Do Majeur et de Si Diminué*, en cours d'édition, de développement et de retouche, modélisations 3D, 2024.

Figure 113. BOURDA Raphaël : *Aperçus de la production d'un modèle 3D du cerveau d'une personne synesthète à partir des acquisitions réalisées pour la recherche de ce mémoire afin d'en réaliser une impression 3D*, captures d'écran des logiciels 3D Slicer, Autodesk Meshmixer, Meshlab (CNR) et Autodesk Maya, 2024.

TABLE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ADCS - Active Display Coordinate System

ASA - American Synesthesia Association

BOLD (Signal)- Signal Blood Oxygen Level Dependent

CHU - Centre Hospitalier Universitaire

CNRS - Centre National de la Recherche Scientifique

DICOM (format)- Digital Imaging and Communications in Medecine

FAQ - Foire Aux Questions

IA - Intelligence Artificielle

IDLE - Integrated Development and Learning Environment

INSERM - Institut National de la Santé Et de la Recherche Médicale

IRMf - Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle

JPEG (format)- Joint Photographic Experts Group

LUTIN - Laboratoire des Usages en Technologies d'Information
Numérique

MP3 (format)- MPEG (Motion Pictures Experts Group) Audio Layer III

PCCR - Pupil Center Corneal Reflection

PNG (format) - Portable Network Graphics

POL - Personnification Ordinale linguistique

SCU - Système de Coordonnées Utilisateur

SDK - Software Development Kit

SPM - Statistical Parametric Mapping

TDAH - Troubles De l'Attention et Hyperactivité

TOC - Trouble Obsessionnel Compulsif

ToNIC - Toulouse Neuro Imaging Center

TR- Temps de Répétition

UKSA - UK Synaesthesia Association

UMR - Unité Mixte de Recherche

USB - Universal Serial Bus

V4 - Sous-région fonctionnelle du cortex visuel primaire occipital dans le cerveau, qui joue un rôle primordial dans la vision des couleurs (dénomination)

WAV - Waveform Audio File

ANNEXES

SOMMAIRE DES ANNEXES

Anatomie de l'oeil et principes de la vision humaine	116
Guide d'entretien	118
Enquête et Sondages - Données brutes	122
Acquisitions Images par Résonance Magnétique (IRM) fonctionelles	142
Colloque International sur la Synesthésie - Oxford, Angleterre	153
Transcription d'entretien	167
Caractéristiques techniques - Oculomètre Tobii Pro Nano	181
PARTIE PRATIQUE DE MÉMOIRE (PPM)	183
VOXEL, <i>"Dans les yeux de Daniela"</i>	
Présentation	185
Installation	186
Contenus	188

ANATOMIE DE L'OEIL ET PRINCIPES DE LA VISION HUMAINE

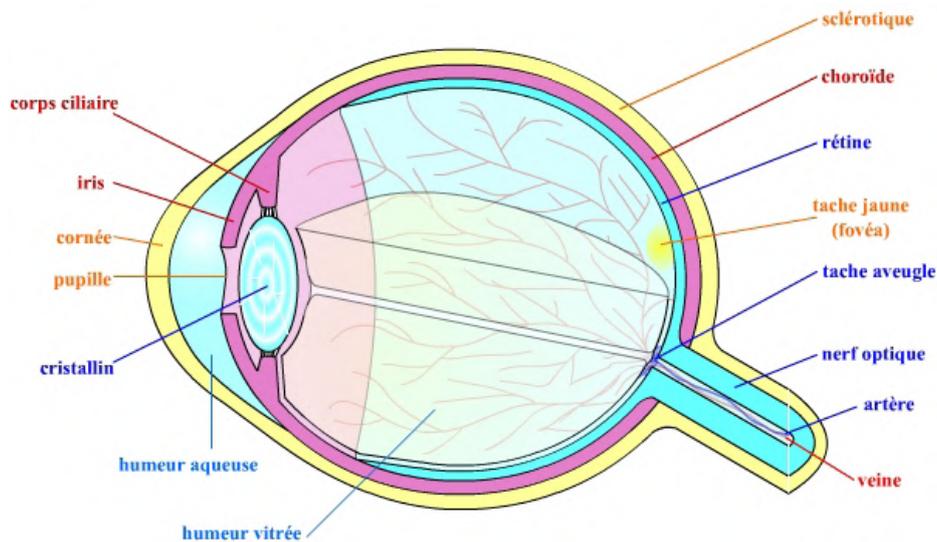


Figure 77. BONNET Gabrielle, CAMUS Gilles : *Schéma d'une coupe longitudinale d'œil humain*, Planet-Vie, École Normale Supérieure

Les informations visuelles que nous percevons sont initialement des rayons lumineux qui traversent, dans l'ordre, la cornée, l'humeur aqueuse, le cristallin, l'humeur vitrée et qui arrivent jusqu'à la rétine. Cette dernière tapisse le fond de l'œil et contient les cellules photoréceptrices, assurant une réponse qui sera transmise au cerveau via le nerf optique, à partir de la réception des photons. L'iris est la partie qui donne sa couleur à l'œil, au milieu de laquelle un trou, la pupille, assure un rôle de régulation de la quantité de lumière entrante en se dilatant ou en se contractant. Le cristallin quant à lui, est une lentille convergente naturelle dont la vergence varie selon les contractions du muscle ciliaire, permettant le mécanisme réflexe de l'accommodation visuelle.

Sur la surface de la rétine, les cellules photo-sensibles (ou photoréceptrices) se distinguent en deux catégories.

- Les bâtonnets représentent la très grande majorité de ces cellules (environ 95% d'entre elles). De forme allongée qui leur donne leur nom, ils sont principalement situés en périphérie et assurent la vision scotopique, en faible luminosité. Ils ne fournissent aucune information

spectrale liée à la couleur.

- Les cônes, beaucoup moins nombreux (environ 5% de ces cellules), sont majoritairement situés autour de la fovéa, point central d'une petite dépression de la rétine où elle est particulièrement fine, la macula. Les cônes se divisent en trois types selon la partie du spectre visible à laquelle ils sont sensibles, caractérisée par des longueurs d'onde : S (short), M (medium) et L (long). Les cônes assurent la vision photopique diurne.

Quel que soit leur type, les cellules photoréceptrices sont déterminantes dans le fonctionnement de la vision car elles transforment les signaux électromagnétiques en signaux nerveux, qui seront acheminés vers le disque optique de la rétine. Celui-ci, appelé également tache aveugle en raison de l'absence de photorécepteur à son niveau, est le point de liaison du nerf optique avec l'oeil et aux ramifications nerveuses rétiniennes. Le nerf optique permet ensuite de conduire les informations nerveuses dans le cerveau afin qu'elles soient traitées dans les différentes régions fonctionnelles du cortex visuel.

La sclère (ou sclérotique) est un tissu peu vascularisé et tendineux qui donne sa forme au globe oculaire. C'est également ce tissu qui forme le blanc de l'oeil.

Entre la rétine et la sclère, la choroïde est un tissu qui assure la vascularisation et la nutrition de nombreuses parties de l'oeil. Associée à l'iris et au corps ciliaire, elle forme également une protection thermique appelée « uvée », filtrant certains rayonnements extérieurs.

L'humeur aqueuse (de faible viscosité) et l'humeur vitrée (plus gélatineuse) sont deux liquides transparents riches en nutriments qui sont filtrés en permanence. Elles permettent les échanges de nutriments et de déchets nécessaires au fonctionnement des tissus sans obstruer le passage de la lumière au milieu de l'oeil, comme le ferait un réseau vasculaire transportant du sang. Leur état liquide assure une certaine pression qui permet à l'oeil de garder sa forme et la structure de ses différents éléments. C'est notamment le corps hyalin - autre nom de l'humeur vitrée - qui maintient la rétine en place sur la paroi de l'oeil.

GUIDE D'ENTRETIEN

GENERALITIES

- Confirmez-vous avoir une forme de synesthésie «vision-son» ?

Do you confirm that you have a 'vision-to-sound' form of synesthesia ?

- Pourriez-vous me dire si vous avez une ou plusieurs autres formes de synesthésie ?

Si oui, lesquelles ?

Could you tell us if you have any other formes of synesthesia ? If yes, which ones ?

- Adaptation de la question du Dr. Hinderk Emrich au sujet de de la cohérence et de la régularité des associations.

Adptation of Pr. Dr. Hinderk Emrich's primary question about associations consistency :

"The inner virtual object you experience, that shape, the blob that you see walking on the horizon, the colored "A", is it connected to the thought of "A" (The so-called 'semantic content') in an inseparable manner, or is it not ? Can I say "Here's a pen" and this pen, besides being a pen, is also lilac, because being a pen means being lilac ? Or is it an additional quality ? So are those qualities merged or are they not ?"

- Vos manifestations et réponses synesthésiques sont-elles toujours les mêmes, et systématiques ?

Are your synesthetic manifestations consistent and automatic ? Are there specific situations or triggers ? (criteria for synaesthesia)

- Possédez-vous d'autres traits de neurodivergence ?

Do you have any other neurodivergent trait ?

DISCOVERING SYNESTHESIA

- Comment avez-vous découvert que vous étiez synesthète ?

How did you discover that you are a synesthete?

- Quel âge aviez-vous ?

How old were you? (First realised form, later forms)

- Que pensez-vous que cela fait, de ne pas être synesthète ?

What do you think it's like, not to have synesthesia ?

- Y a-t-il des oeuvres artistiques (films, musique, photographie, peinture, etc) pour lesquelles votre perception synesthésique pourrait avoir biaisé votre interprétation ou compréhension de l'oeuvre par rapport au reste du public ?

Are there any artistic works (films, music, photography, painting, etc.) where your synesthetic perception might have influenced your interpretation or understanding of the piece differently, compared to the rest of the audience ?

- Sans tenir compte de votre réponse à la dernière question, comment percevriez-vous cette différence ? Plutôt comme une diversité enrichissante qui rend votre perception unique ? Ou plutôt comme un biais qui aurait pu vous faire passer à côté d'une partie du message de l'auteur/artiste ?

Regardless of your response to the previous question, how would you perceive this difference ? More as an enriching diversity that makes your perception unique ? Or rather as a bias that might cause you to miss out on part of the author/artist's message ?

«VISION-TO-SOUND» SYNESTHESIA

- Quels sont les signaux déclencheurs de votre synesthésie (couleur, texture, forme..?)

What are your triggering elements of synesthesia (color, texture, shape) ?

- Les éléments qui caractérisent votre réponse synesthésiques s'apparentent-ils à des objets mentaux/internes (comme notre petite voix dans la tête), ou comme des éléments externes spatialisés ?

Do the elements that make up your synesthetic response resemble an inner object (like an inner voice), or spatialized elements ?

- En utilisant vos propres mots, est-il possible pour vous de définir les modalités synesthésiques

que vous avez ?

Using your own words, is it possible for you to define the perception you have ? For example, "This red color sounds like..." or "This sound looks like this element or object"

- Seriez-vous volontaire pour participer à une étude dédiée à la caractérisation de votre perception dans le but de simuler votre forme de synesthésie et la rendre accessible/tangible pour un public non-synesthète ?

Would you be willing to participate in a study aimed at characterizing your perception in order to raise awareness, simulate your synesthesia and make it accessible to a non-synesthetic audience?

SYNESTHESIA IN SOCIETY

- Quand vous parlez de la synesthésie : avez-vous déjà fait face à du scepticisme ou des apriori ?

When you talk about your synesthesia with people : Have you ever faced scepticism or misconceptions ? Feel free to give examples

- Si oui, quel a été votre ressenti vis-à-vis de ces réactions ?

If yes, How did you feel about these reactions ?

- De votre point de vue, quelle serait la réaction idéale que pourrait avoir une personne non-synesthète ?

From your perspective, what would be the ideal reaction a non-synesthete person may have ?

- Quel est l'impact de la synesthésie (neutre, positif, négatif...) sur votre vie ?

What is the impact of synesthesia (neutral, positive, negative...) on your life?

Feel free to develop and give concrete examples.

- Sur votre vie quotidienne ? *On your daily life ?*

- Sur votre bien-être physique ? *On your physical well-being ?*

- Sur votre santé mentale ? *On your mental health ?*

- Sur votre vie sociale et vos interactions ? *On your social life and interactions ?*

- Sur votre vie scolaire et/ou professionnelle ? *On your professional / school life ?*

EXPRESSING SYNESTHESIA

- Avez-vous déjà essayé «d’externaliser» votre synesthésie pour la rendre accessible par un public non-synesthète ?

Have you ever tried to externalize your synesthesia to represent it to a non-synesthetic audience ?

- Dans l’idéal, aimeriez-vous qu’il soit possible de rendre votre perception synesthésique accessible pour des individus non synesthètes ?

Would you ideally like it to be possible to make your synesthetic perception understandable and accessible to non-synesthetic individuals ?

- S’il était possible de simuler certains aspects de votre perception synesthésique, mais de manière non exhaustive / simplifiée / incomplète : Préfereriez-vous que personne n’y ait accès parce qu’elle ne reflète pas l’entièreté de vos modalités perceptives ? Ou considéreriez-vous que la simulation reste intéressante malgré sa simplification pour comprendre ce qu’est la synesthésie ?

If it was possible to simulate certain aspects of your synesthetic perception, but in a non-exhaustive / simplified / incomplete way: Would you prefer that no one have access to it because it does not reflect the entirety of your perceptual modalities? Or would you consider the simulation to still be interesting despite its simplification, to understand what synesthesia is ?

- Comment procéderiez-vous pour rendre cela possible (artistiquement, scientifiquement, créativement) ?

How would proceed to make this possible (artistically, scientifically, creatively) ?

- Ceci conclut cet entretien. Merci beaucoup pour votre temps et votre coopération. Y a-t-il autre chose que vous aimeriez que je sache, à propos de vous, de votre synesthésie, et de la synesthésie en général ?

That concludes this interview. Thank you so much for your time and cooperation. Is there anything else you would like me to know, about you, your synesthesia, or synesthesia in general?

ENQUÊTE ET SONDAGE - DONNÉES BRUTES

Ces résultats sont les données brutes collectées lors d'un sondage, mené auprès des synesthètes recensés. 31 personnes ont répondu anonymement.

Consenting to participate in this study implies:

- Participation is voluntary for each individual
- I understand that even if I agree to participate now, I can withdraw at any time or refuse to answer any question without any consequences of any kind.
- I understand that I will not benefit directly from participating in this research
- I understand that all information I provide for this study will be anonymized
- I understand that disguised extracts from my interview may be quoted in the thesis
- I understand that I am free to contact any of the people involved in the research to seek further clarification and information before and after consenting.
- I understand that all information gathered will be stored securely, and my opinions will be accurately and anonymously represented.

I have read and I consent : 100 % (31)

I don't consent : 0 % (0)

Are your synesthetic manifestations consistent and automatic ?

I just have them. I don't know if they are more intense sometimes, but I can focus on other things and they are in the background.

Yes, my synesthetic manifestations are consistent and automatic with music and singing voices. Occasionally, talking voices can also be a trigger, especially when people speak in a certain tone, dialect, or pronunciation that I feel resonate with a musical wave. In contrast, everyone else's voices appear as a faint grey. While I cannot escape the synesthetic experience triggered by music and singing voices, with talking voices, it's more of an inconsistent surprise simply because we don't all burst into song all the time

the main one is more noticeably consistent and automatic, much more pronounced when more aware or more sensitized

They are consistent and automatic . No specific situations or triggers bring them on

they are automatic, mainly when I want to focus on something, could be simple like eating and enjoy the flavors or something more specific like hearing music or sounds to paint them

Yes automatic. And no, sometimes they're triggered and sometimes they're not

Toutes mes manifestations sont cohérentes (pour moi) et automatiques, naturelles même. Il n'y a pas de situations spécifiques, ce sont les mots, individuellement (mais pas tous) qui déclenchent tantôt un goût concret dans ma bouche tantôt la sensation de goût s'apparente plus à une image mentale. Cela dépend du temps que je prends pour savourer un mot. Dans le flux d'une conversation où les mots s'enchaînent, les goûts successifs correspondent plus à des images mentales. Cependant, je ne saurais pas expliquer pourquoi certains mots n'ont pas de goût.

Yes consistent but it's a wild mess because there are so many

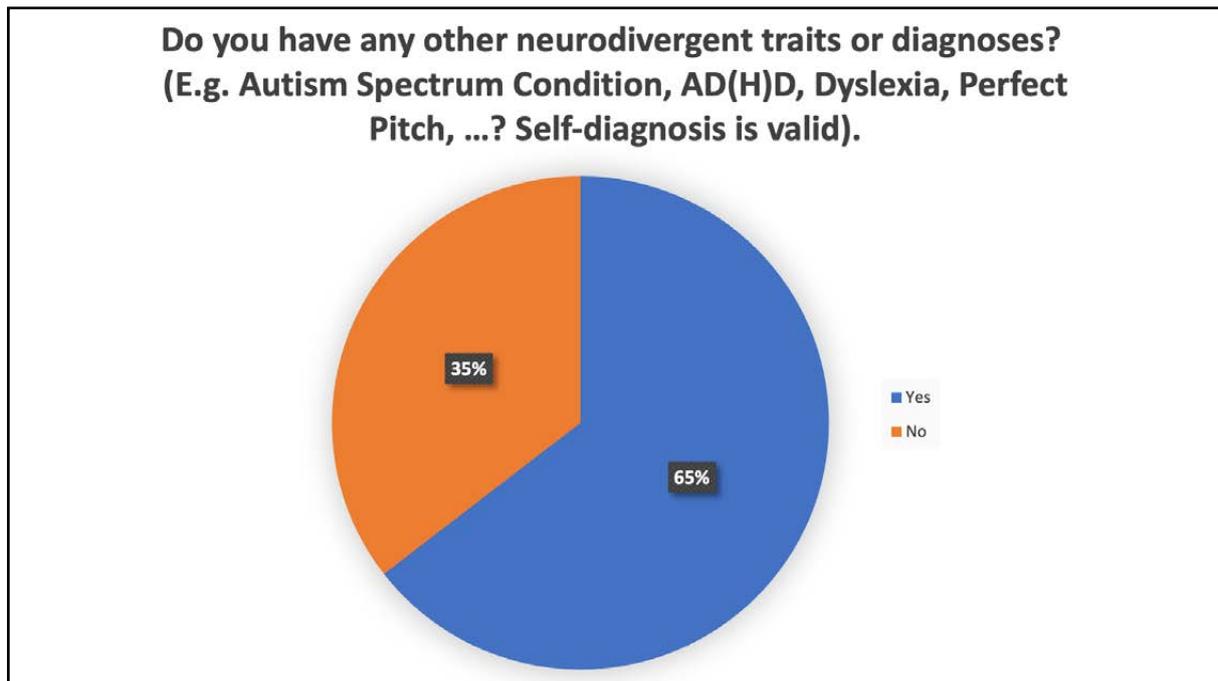
They're mostly automatic, but when I'm overwhelmed and tired they're more intense (or I perceive them more intensely?)

Yes, consistent and automatic...specific instruments/sounds and intervals may create more intense reactions, but there are always colors/motions with music

Aucune situation déclenchante, c'est automatique. Je me suis aperçue très tard que tout le monde ne voyait pas les chiffres en couleurs.

Yes (x21)

Are your synesthetic manifestations consistent and automatic ?



Autism (x3)

Autism and ADHD (x5)

Autism spectrum disorder, ADHD, OCD, depression, anxiety,
epilepsy, hyperlexia, hypergraphia (x1)

Dyslexia x2

Autism and dyslexia (x3)

ADHD (x4)

Autism and Perfect Pitch (x1)

Feel free to tell us how you discovered you were a synesthete (optional)

I read a book called 'Evolution' from Thomas Thiemeyer in grade 7 (I was around 13, different school system than the British). In the book was a girl described who had synesthesia. In one scene she explained a Graphem-colour-synesthesia to a boy and I look at the letters on that page and just realized that I had seen these colour All the time but mine where different. I told my mom and she researched in the internet.

I grew up in a home of music enthusiasts so there was barely any absence of my experience. When I started school I grew up with this 'visual thinker' idea that I used as an understanding long after. I went to music school when I was about seven and I noticed it wasn't just a mental imagery, it happened involuntarily. In a simple way of course, 'oh if I do this, then this happens.'

Funny enough synesthesia as a term wasn't unfamiliar, I knew of grapheme synesthesia for example because I grew up with a mother who owned about every book, paper or documentary from Oliver Sacks to Richard E. Cytowic. We just never discussed me haha, nor was the situation as close to mine. I think I was always just a step away until I learned the term chromesthesia in a documentary about 15 years ago, after which I thought 'Ah, that's the term'.

I was in my 30s and brought up the sound of the dresser in my room with my dad. He looked at me funny and didn't know what I was talking about. At the time I understood it as the sound of things being, their vibration. I thought everyone experienced it. I had to research what it was and came across synesthesia, but couldn't find anyone talking about my main type (sight to sound).

I was with a couple of close friends around 11 years ago and I happened to mention a particular number as a colour, gender and having a personality trait. My friends looked at me like I was crazy. We then went on to Google what this phenomena was and that's how I first discovered it.

I was around 15 y/o and obsessed with a song called Spanish Sahara by Foals. There was a specific part of the song that I felt the urge to paint because it sounded like tiny colored droplets and bubbles floating, I made the painting and at that time there was not much information about synesthesia. I didn't know the word or concept until some years later, I was very surprised to know it wasn't something I was inventing

I started realizing it when I was 17

A university tutor told me I was, later in life I came across posts online and talked to friends and discovered that these things were not «normal»

En lisant «Je pense trop» de Christel Petitcollin, conseillé par une amie.

I was having a conversation with someone I dated about the importance of music and that if it feels round and the circle starts to move it is the perfect song. I was trying to explain it looks like the hills in Appenzell (a place in Switzerland) but it goes round in circles and they connect. I thought everyone saw circles in music, like a natural effect. He told me he had never heard this before, and I was shocked.

I then found Maïke Preissing who confirmed to me that it is synesthesia.

My mum found out I had GCS when I was in primary school, because I kept talking about coloured letters. It took me until my mid 20s to find the other forms/ to understand that this is Synaesthesia too

Through Maïke's Instagram account, randomly

A friend asked me if I have it after I started explaining my singing voice and music in shapes and colors. Then proceeds to explain to me what it is.

As a child, realized others didn't see/associate colors like me. Music teacher suggested I might have it around 8 years old.

A classmate in uni was sharing her experience with having synesthesia, and then I realized we had many shared experiences and I had my own manifestations of it

En discutant avec des amis, j'ai compris qu'ils ne voyaient pas les chiffres forcément en couleur ni la semaine en rond mais sans forcément mettre en mot la raison

I was supposed to participate to this study as a non-synesthete but I had doubts about it so I informed myself a bit more : turned out I was a synesthete

How old were you when you first discovered your synesthesia ? If you have several forms, feel free to develop (first realized form, later forms...)

About 13

My earliest memory is falling asleep to the colours I would see from rhythmic sounds when I was a child, maybe 4. I remember really thinking about seeing things and not wanting it to stop because I was afraid of the dark. I think I discovered and understood the trigger specifically when I went to music school (prior question).

late 30s for the main form, then I started recognizing I had other forms (sight to touch/feel, sound to touch/feel, feeling to sight) as I paid more attention to my perceptions.

I was 25 years old when I found out I had Chromesthesia. Everything else was discovered last year, when I was 32

J'ai toujours eu conscience, aussi loin que je me souviens de ce fonctionnement interne personnel. J'ai dû comprendre vers l'âge de 6 ou 7 ans qu'il s'agissait d'une particularité qui m'était propre, et que les autres ne ressentait pas la même chose. Dès lors, c'est une chose que je n'ai partagée qu'avec ma sœur, puis plus tard, avec mon mari. De peur que cette particularité soit perçue comme une « étrangeté », voire pire, un problème. Ce n'est que récemment, à l'âge de 34 ans, que j'ai pu poser un mot, un diagnostic même sur ma petite « étrangeté » qui devenait alors une particularité.

31 (x2)

15 and started to explore it more when I was 18-19 and so on! now I'm 31

When I was 22

21

Starts as young as I can remember. But only knew the name at 26 (31 soon)

37

7 years, then 25-28 years

At 18 years old

25 years old - only Chromesthesia. Everything else was discovered last year, when I was 32.

19 (x4)

Around 8 years old when I realized not everyone experienced it. But I can remember a specific conversation around magnetic alphabet letters being the "wrong color" on a toy when I was 3.5 years (I got the toy on a trip overseas for a wedding so know the exact age I was at the time)

22 (x3)

25 ans pour m'apercevoir que c'était différent pour tout le monde,
31 ans pour qu'on me parle de synesthésie.

21 or 22 for the first form (spacial sequence) and misophonia (but I didn't know that this one was a form of synesthesia)

26 (x2)

30 (x2)

7

8

36

What do you think it is, not to have synesthesia ? (optional)

Boring and probably pretty sad, also I would have no way to navigate through everyday life, because as good as everything is connected to a colour.

Now that I'm in contact with a lot more synesthetes I think it's easier for me to imagine not having synesthesia, since I have 'only' one form. Though not always, music is fairly controllable. I can't turn my experience off but the closest would be to avoid a trigger. You wouldn't know better with or without, but it seems quiet and dark in those moments. Which at times might be more relaxing than having any form of synesthesia from my perspective haha.

Maybe quieter or more peaceful and ordered. Easier to focus on linear things, instead of being inundated by sensory input that no one else is accounting for.

Boring!

Maybe a quiet-plain mind

It's hard to imagine, I guess everything would be more organized yet less beautiful

Boring. The world must be much less interesting

Empty, realist and bland

C'est une question très difficile. Dans l'absolu, je dirais que j'imagine l'absence de synesthésie comme une simplification de la perception, donc moins éprouvante (pour le cerveau) mais moins riche en contrepartie aussi. Si j'imagine maintenant non pas l'absence mais la perte de synesthésie, je l'imagine alors comme la perte d'un de mes sens.

Boring and difficult. My synesthesia is quite calming

One dimensional. In a neutral sense though! Pain is just pain, and not an image to analyse. I think Synaesthesia makes me very open to thinking about „absurd“ cross-modal connections. If I didn't have Synaesthesia I don't know how easy it would be to understand and work with the idea that sounds can have a taste etc. I think suddenly not having Synaesthesia would make me very very lost. I don't know if I could cope. I also know that not having Synaesthesia would mean I would spend less time in my mind's eye. I would hold more eye contact and be able to think and react without watching my mind's eye.

Everyday experience must be less intense

Everything is "quieter" and have less obstacles when trying to live

I don't know. I think it has helped me in music & academic work, & maybe a reason I have such good memory. Without it you would have to use other methods to think & remember?

Quite dull most of the time, because when your senses overlap to tell you a story that's just so exciting and so beautiful. To not have that must be so empty, but also not overstimulating

j'imagine de voir les chiffres en blanc et de se représenter la semaine et l'année en noir et blanc et linéaire peut être

Tasteless and bland life. But also more quiet sometimes I guess

Are there any artistic works (films, music, photography, painting, etc...) where your synesthetic perception might have influenced your interpretation or understanding of the piece differently, compared to the rest of the audience ?

I really like the paintings of Kandinsky. They give me a feeling that I see parts of my synesthesia, also they trigger my OLP.

I am never really able to 'hear' music. It's as if I can the more I try to hear just the sound the less I hear it and the more I see the music. Often it is a hundred times better to see it, because I still hear it, it is commonly the same thing hearing and seeing. The vision of the music is just like an incredible construction of coloured forms or mist all around me and I can partly memorize it better than the heard, because it is in some ways the same. But in music lessons it is not so good to describe colour after the question to give a description to the song. I understand music in vision and hear something different as the other audience. Dancing is also different. When seeing a performance never seen before the colour are not so strong, but seeing a performance I did before or doing it myself is like walking/ dancing through a Muster of colour. I can already see the next colours coming. (these experiences are from long term Ballet and Teak Won Do classes)

Sometimes I watch movies and filters for some colours are set. I feel often the emotion I connect with the colour more intense. I don't know if other people also experience something like that, but I think many do not so intense.

I think it has certainly influenced my interpretation of music. It kind of involuntarily invites me into the painting (metaphorically speaking, since it's music) of someone else. I've come to see it as different layers to my experience now that I understand my own chromesthesia better but there's no real escape in the moment. I don't have to use my chromesthesia to make sense of things, yet my chromesthesia often makes sense to me when I reflect on my experience haha. Especially since certain colours of voices generally have 'practical' things in common when comparing the colours of different voices. Then there's memories, say, the singing voices of family memories that make me more likely to feel sentimental about similar voices, lyrics excluded. It's fascinating to think about, sometimes.

Since I'm talking about music, I think my experience can be more intense both practically and physically. Colours amplify emotions conveyed through lyrics and sound. On top of that, we try and compose music in such a way to make it happen. Does it always work in my sound-to-colour world? No, but the only question unanswered would be if my colours fit those intentions which we'll never know. It's more about the physical experience.

How intense is the movement or how intense are the colours? I am part of it. Where as someone else can apply lyrics to their thoughts, feelings, and memories, they too can interpret things to their own respective reality. Still, I have other aspects to deal with and the intensity would be 'worse' if all aspects are combined. Colour, motion, emotion, memories, thoughts. On the other hand sometimes colours are so intense I don't even have thoughts, only after. That doesn't make either experience less relevant. I honestly think I have an extra layer to deal with, where as someone else might have a memory I have never had to deal with. In the end it makes me wonder if others might be more biased (understandably so) whereas I have less room for myself while in other people's musical paintings (as I would describe them).

Still, overcomplicated music and feeling like you're on a merry-go-around, I might desperately wish for no thoughts, head empty (too).

Another layer is, nuances in voices seem apparent to me, even in specific coloured voices (like purple). Yet realistically, I can't assume with certainty what it stems from things like emotions, tone, condition. Yet my experience has shown that colours do fluctuate, especially during live performances. So I could assume honesty, sadness, happiness, but that part I try to ignore as best I can. It feels invasive and only a conversation could possibly confirm it.

Of course those examples mostly have -to me- a certain beauty to it. Negatively, I get nauseous sometimes when all senses are combined via concerts of movies on top of my chromesthesia. Where you have bodily experiences like my sensitivity to flickering lights or how I get nauseous when I don't have a focal point. So environmental differences like lighting can disturb or negatively influence my own bodily experience beyond my chromesthesia. All of that as a cocktail? Yikes!

It's mostly good but that might be the music I choose to play. :) and when I'm at a concert at which the colours align, there's no better feeling.

Yes, for instance I will feel the warmth of the sun in a photograph, or the personality of a color or mix of colors, or hear the colors of movements in a painting or film.

When I used to go to clubs and listen to dance music I could recognise the song from very early on. I can also hear each individual sound

yes, all the time

My favorite music, when I go to sleep my mind recreates similar music that otherwise doesn't exist.

Most forms of art I believe are interpreted differently by synaesthetes.

Yes. As an artist, most of my work is influenced by my Synaesthesia. Feel free to check my website nadjaniedenthal.com under portfolio "Cerberus senses" that's my Synaesthesia thesis!

Classical music and electronic latin american music(which combine traditional music and chats with beats)

Rock and metal music of any kind makes me feel like I get attacked. I left a rock music bar after less than 1h followed by 1h of crying & being nonverbal, because the music looked like it attacked me with knives. It was horrible. I could never enjoy a concert or band because it's invasive and painful and I feel abused afterwards.

Music: a sad song might cause me to experience it as less sad or even neutral or happy because the colours it makes me experience are linked with happier emotions in my mind.

Poetry: for the same reason, if a poem looks mostly one colour in my mind, I'll develop according emotions for it even if the subject of the poem is totally different

Possibly. I never thought the scene with Remy in Ratatouille where he eats the food and had those abstract shapes were weird. Made complete sense to me and feels normal until people started pointing it out that it's synesthesia like. Looking at some paintings will remind me of some songs because of their colors and the music will start playing in my head. Definitely when it comes to film and how it's being edited. But I can't pinpoint exactly how but I know my synesthesia comes to play when I watch them. If my colour-taste gets triggered from a certain shade of green in a photo, painting or film, I tend to dislike the character/scene just cause it tastes bad.

Any and all artistic works, especially music. Films are particularly interesting because the film scores catch my attention and support my engagement with the movie

NO (x11)

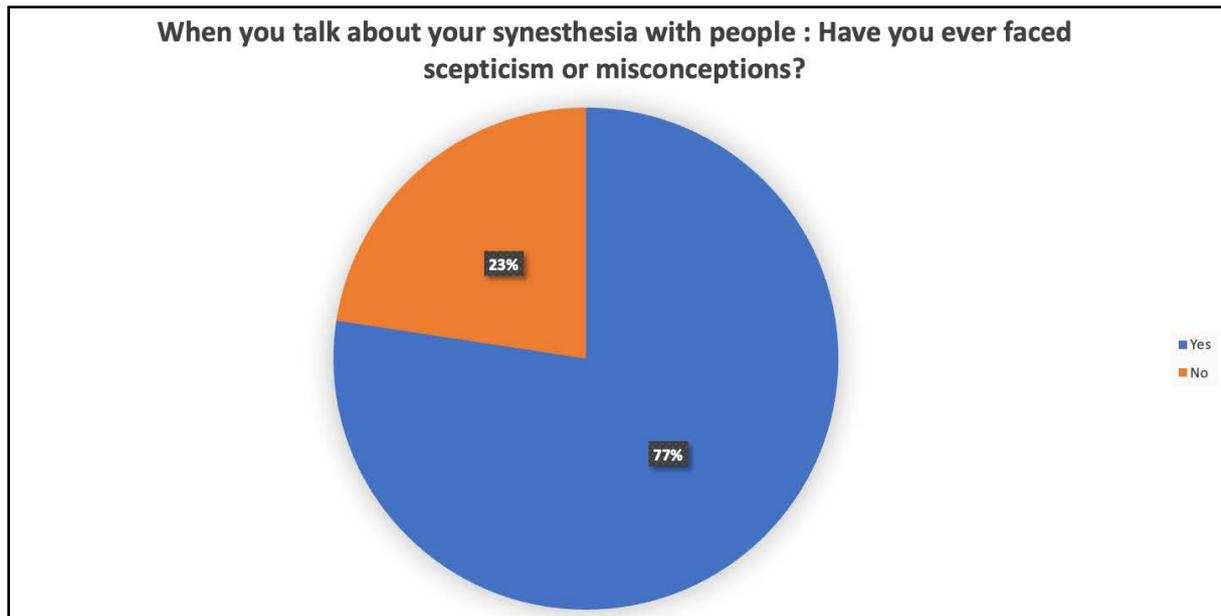
Regardless of your responses to the previous question, how would you perceive this difference ? More as an enriching diversity that makes your perception unique ? Or rather as a bias that might cause you to miss out on part of the author/artist's message ?

enriching diversity : 22

bias : 2

I don't know : 7

When you talk about your synesthesia with people : Have you ever faced scepticism or misconceptions?



I never talked so much about with other people than my friends and family. I tried once Stalking about it with a classmate and he reacted with laughing about how wurd I and the Total topic was.

My parents were at the begining as sceptical as I was myself, because none of us knew much about synesthesia.

I think just a lack of understanding of the possibility and how it manifests. Sighted people might have just as much inability to understand vision differences, or those without a form of colorblindness trying to imagine what it's like to not be able to see the difference between red and green. It's not been so much a prejudice but an inability to imagine. people may think it's something more related to drugs or something you come up with People who don't experience it themselves think it's something you're saying to sound more interesting.

That they think I'm lying, or it's an imagination.

I've been told I'm a dreamer and that I don't beed drugs as I naturally seem to be on drugs. Also that the form I have isn't really written anywhere, often people don't understand there are many forms of synesthesia, as my specific descriptions are not really noted, people don't always believe me. Because it hasn't been proven.

Confusing it with schizophrenia

People don't understand what "in my mind's eye" means and even after explaining, a lot of them still just think it's hallucinations. Others have told me I'm making everything up.

Mostly online. They believe in synesthesia, but not that I have it. I must be lying since I put it up on the internet because I just want attention/clout. Or it's very rare, so no way I can have it. Or synesthesia is just another label for something everyone can do (confusing it with imagination). Or "not another neurodivergent trait. We have enough, autism, ADHD, etc" so it's not real. Just something we made up to feel special.

People have thought it's a type of hallucination.

Parents saying I was making it up

Classmates comparing it to "oh red folder is for this class, blue is for this, etc"

Les gens ne connaissent globalement pas. Et le prennent comme une anecdote plus qu'autre chose. Selon eux (à raison à tort je ne sais pas), on m'a sûrement appris les chiffres en couleurs dans mon enfance

How did you feel about these reactions ?

The classmate was dumb anyways, but it hurt being called weird.

Bemused, curious, intrigued.

not very comfortable of speaking about synesthesia, unless I feel the person im talking to its more open minded

I think it's understandable, but also very closed minded to assume everyone has the same experiences as you

Sad, but then after finding out the name I'm unbothered. It's my world and I just think they're too dull to understand.

They are funny but at the same time also hurtful as I don't feel takeb seriously

It's fine. There are so many topics in this world that we know little about. It's often a lack of clinical knowledge and misconceptions. If people want to hurt me with their comments it does affect me, but at the end of the day science shows they are wrong.

Its disappointing when they come from close friends. It doesn't really bother me if it comes from people of no significant value.

Surprised, a little hurt and scared at first. But also glad that I only had to experience this from people online and not from people in my close circle. I feel lucky I grew up with everyone accepting me for saying weird stuff all the time and nobody made me feel bad about it. But then it makes me a little mad that other synaesthetes will have to experience this from people within their inner circle.

I don't tell people anymore. My psychologist only just discovered this about me in the last couple months & I have known her almost 9 years. I wasn't sure how she would see it so I

never mentioned it. But her response has been positive & interested, & now refers back to how I perceive things related to the synesthesia which I appreciate.

Unsure because I didn't know what to say or how to defend my perspective

sceptique moi même car je ne sais pas vraiment si ils ont raison ou tort.

From your perspective, what would be the ideal reaction a non-synesthete may have ?

Interested and open to learn more about the topic. To my luck as good as everybody had that reaction.

wonder and curiosity, self-reflection and interest in their own perceptions and possible perceptual biases and differences, and applying that to understanding human consciousness and perception and reality as a whole.

I dont know, everyone is different

Be interested and ask questions to find out more

"Oh really? Wow that's amazing" or something like that, and do their research

To be curious about it and understand it is very individual

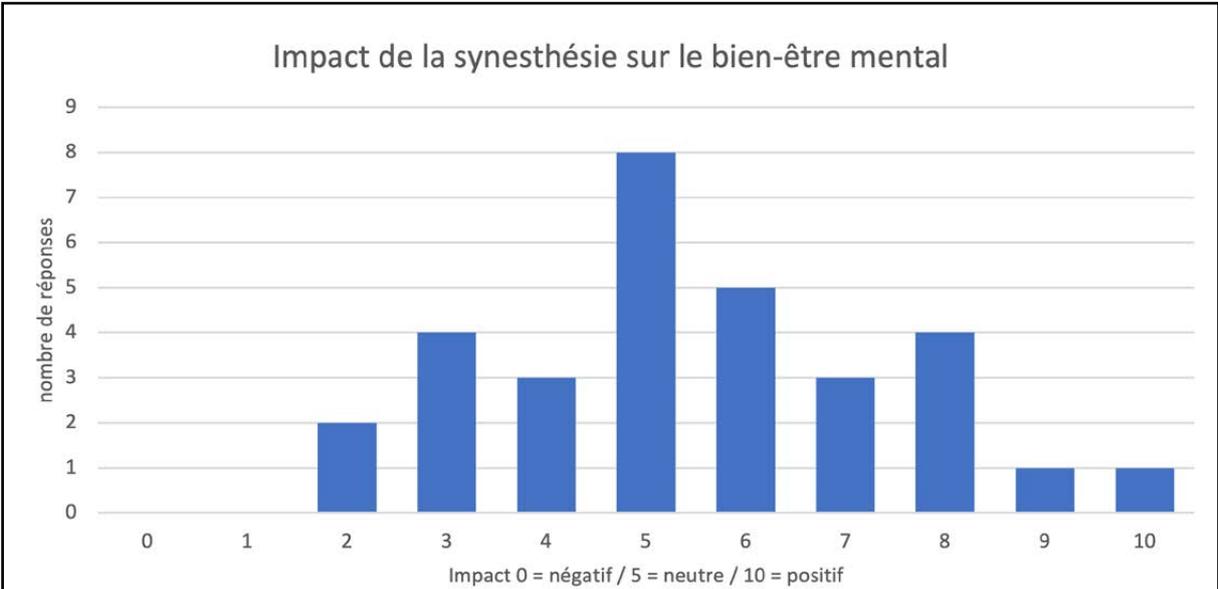
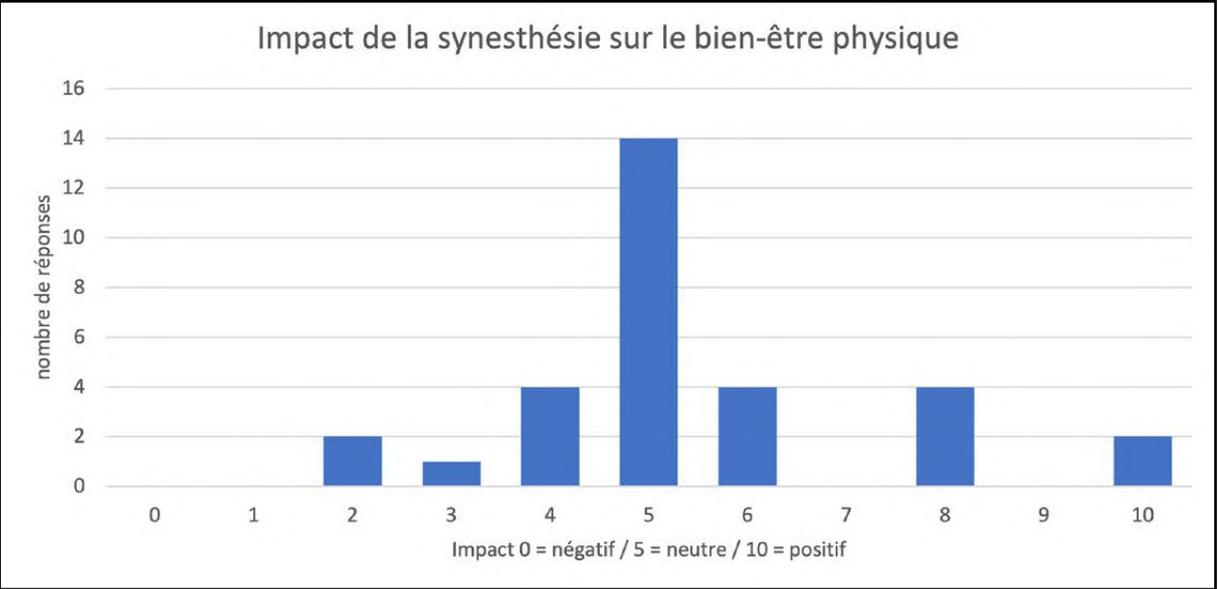
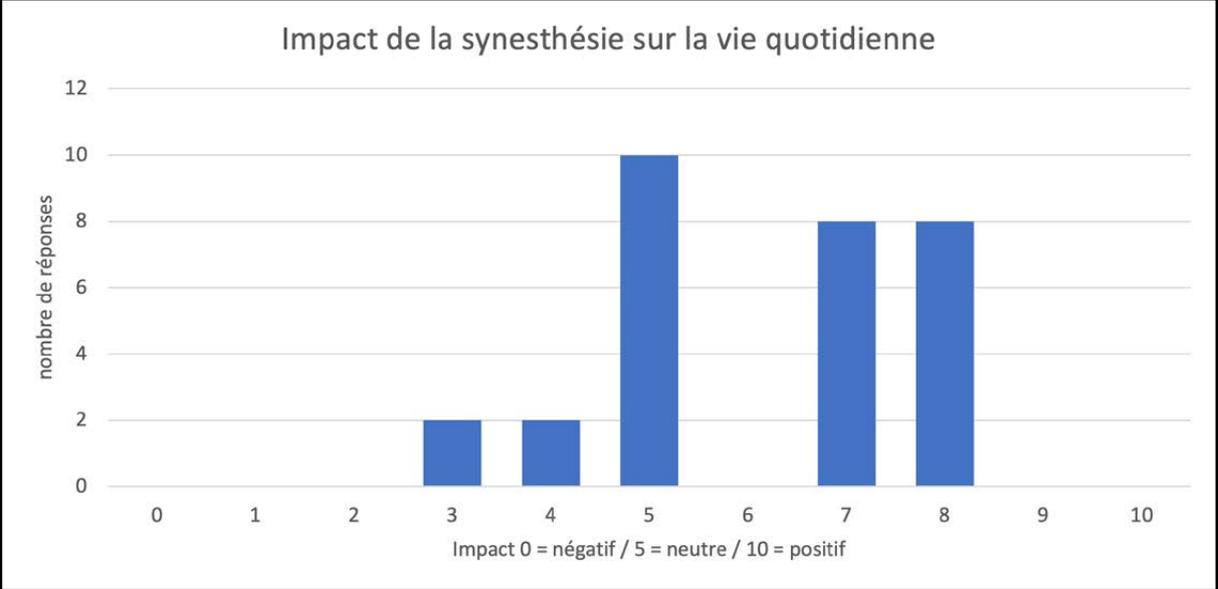
Curiosity and asking questions, maybe asking for art pieces or any material like a video, paper or documentary that helps them grasp it

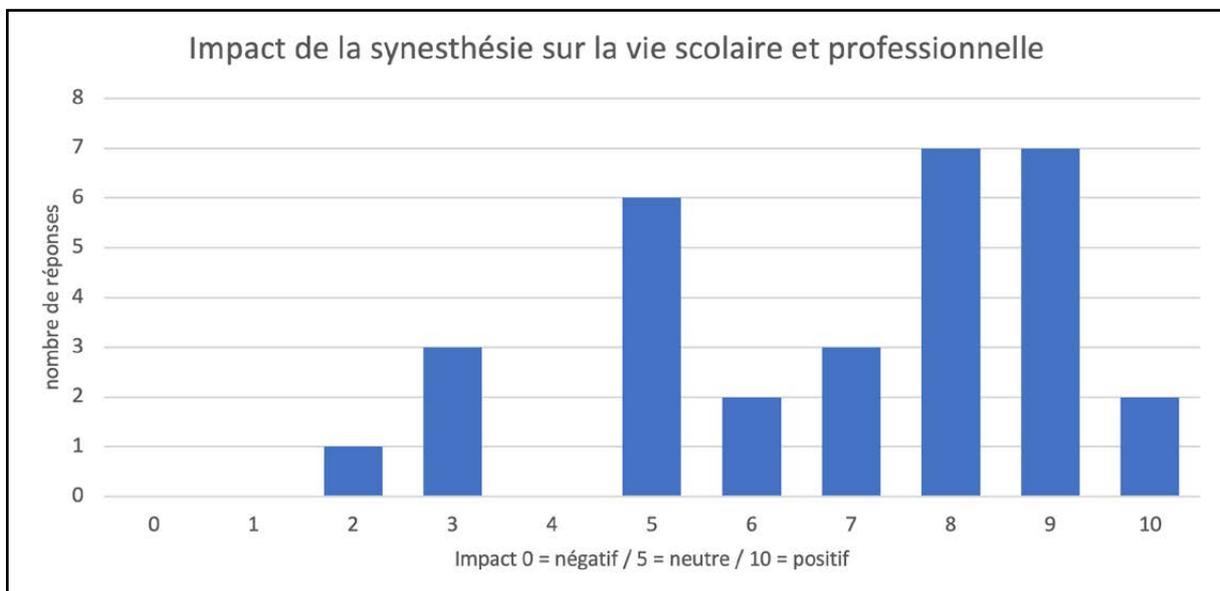
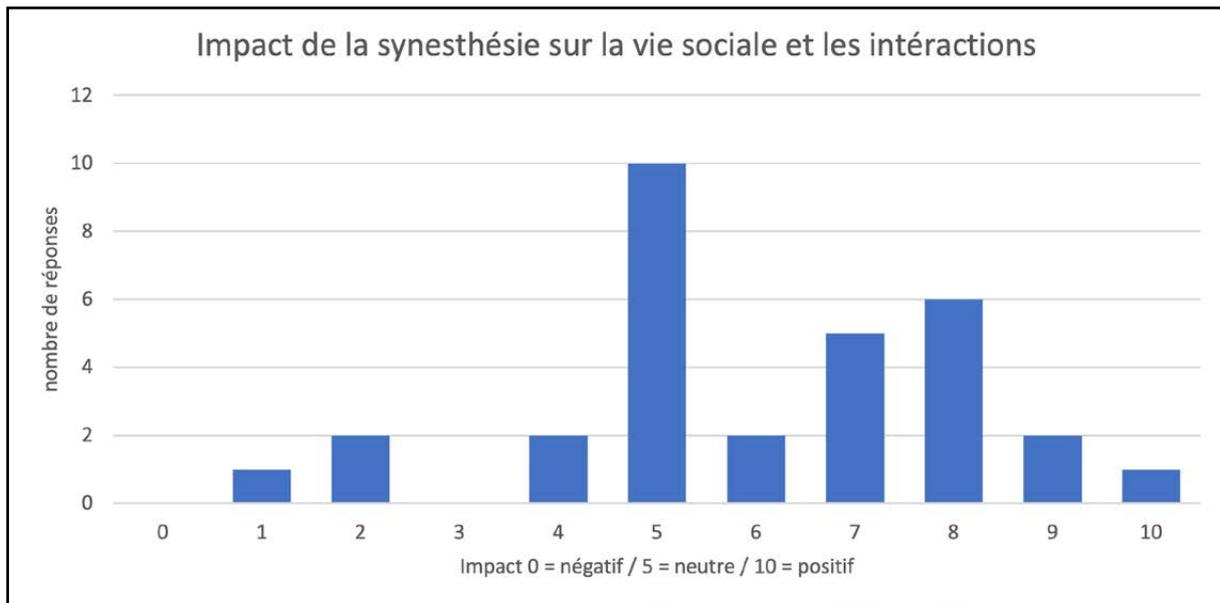
Accepting the fact and asking more if they don't fully understand

Being approached with curiosity instead of judgement. Then accepting that it's just who we are and just move on. I had two friends who didn't understand synesthesia fully, but knowing that certain things distresses me was enough. They would spring into action to remove me from environments that I feel highly uncomfortable in just by me vocalizing it. I didn't have to explain myself. That's pretty cool too.

"Oh really?! What's that like? Can you share what your experience has been and how your synesthesia manifests itself?" I think curiosity with the intent to understand and to love better through understanding better

plutôt se renseigner avant de debriefer





Would you ideally like it to be possible to make your synesthetic perception understandable and accessible to non-synesthetic individuals ?

Yes, please. My mom and dad could finally understand why I just have to move to music and why it is not friendly to give me a name without any green. My teachers could understand why I just don't hear whatever they want me to hear in the music and why writing the numbers in the wrong colour confuses me and why you can't write Cl in orange if you write Na in black, because it is literally the other way around.

I do not necessarily feel a desire for others to perceive things like I do, but I like the idea of a possibility to do so. Everyone was a way to express themselves, so sharing my perception would potentially make it easier to connect on a certain level. Or for reasons like deeper conversation, sharing perspectives, and of course creativity that often involves it etc.

That would be exciting, yes.

Yes x7

surely there is a big amount of synesthetes out there who would like to participate in activities related to synesthesia

Sure, why not

Yes, often people don't understand why I would feel emotions from inanimate objects and images

Yes. I tried with my exhibition and I think it somehow translates

Par tout le monde. Mais l'idéal serait déjà que je parvienne moi-même à rendre accessible ma perception synesthésique. Poser un diagnostic il y a quatre ans m'a beaucoup aidé mais malgré le soulagement que ça m'a apporté, ça n'a pas libéré ma parole pour autant, trop habituée à garder cette information secrète.

peur du jugement des autres mais surtout parce que je pense que ça n'a pas grand intérêt de partager cette information. Pourquoi dire que je suis synesthète ? Qu'est-ce que ça change finalement ? C'est une information secondaire, du type « je suis souvent malade en voiture » ou « j'adore l'odeur de la rose » Ca n'a de réel intérêt finalement que pour les synesthètes conscients en mal de références et les synesthètes qui s'ignorent. Cela me fait donc deux raisons au moins de me faire un devoir de communiquer davantage.

Yes and no, explaining it to everyone feels tiring.

Yes always

Yeah it would be fun and helpful

Very much so. Yes.

Sometimes I guess if I chose the person

Pourquoi pas ! que ce soit plus connu

No x3

How would you proceed to make it possible ?

I once wore AR glasses and while seeing your environment, you also see the pragramm. You could let a programm where the vision is the of an synesthete.

I myself make visual images along with descriptions of my experience through artistic expression. In a broader sense (and of influence) I would say research, public awareness, and accessibility to information could contribute to a better understanding of synesthesia and foster greater empathy and connection. All of them have the potential to break down barriers, challenge misconceptions, and promote inclusivity and understanding.

It could probably be achieved with certain substances currently being researched, or with robotic devices coupled with neurofeedback, or with art and music. Of course nothing could be exact, but it could approximate what someone else might experience.

Artistically by picture representation

since is synesthesia we are talking about, maybe something involving all sensations. Artistically, of course, scientifically is necessary, but also with food, drinks and maybe spiritually too

Through advocating for the advance of synesthetic people

I could use design or comic strips to explain

Artistically/creatively, and scientifically

Je commencerais par te rendre ce questionnaire et me servir de cet acte comme la fin d'un secret inutilement porté. Ce serait un premier pas vers l'accessibilité de ma perception et le partage de ma particularité.

Creatively - painting the circles I feel during music.

Artistically mainly

First scientifically through evidence and then by explaining in detail how I personally experience synaesthesia and providing examples through art, paintings etc

Through art, videos, animation, music and whatever creative form I can get my hands on.

I don't know x12

Creating some sort of VR simulator and adding in colors/motion along to some musical track that matches my perception

Attempting to match people's/characters' colors by painting them? But that doesn't often work because I don't know color theory well haha

plutôt scientifiquement, pour remédier aux sceptiques qui attendent des preuves, (moi y compris quelque part)

Artistically

And my final question : I'm Raphaël, the initiator of this research project, and I am not a synesthete. What would you like me to know about synesthesia in general, or about your personal perception ? What would you like neurotypical people - like me - to know ?

You have the final word. Thank you immensely for your contribution and testimonies !

Thanks for let me share my experience. I would like you to know that every synesthesia is different. Most people don't see the colours actually around them. The synesthesia shown in the median (rarly shown by the way) is often an extrem. And most important it is NOT an illness or an disorder, but I believe you allready know that.

The world is full of magical things and your response to us -in which ever shape or form- is an acknowledging of our existence.

To quote Oliver Sacks in his final book Gratitude

"I cannot pretend I am without fear. But my predominant feeling is one of gratitude. I have loved and been loved; I have been given much and I have given something in return; I have been a sentient being, a thinking animal, on this beautiful planet, and that in itself has been an enormous privilege and adventure."

We all have something in common.

All the best!

All I can tell you about is my own synesthesia. I think just like non-synesthetes, we each experience the world in a totally unique way. I guess I would like to explain that even within non-synesthesia, there are subjective and objective differences to how reality is understood by each human being. Synesthesia might look novel or even spectacular to someone not innately familiar with it, but to synesthetes, it's no different from any other senses that we all share. It's very normal and almost mundane and even can sometimes be annoying. Just like any other senses. For instance, sometimes you can hear something beautiful like birds singing in the morning, and another day you wake up with a headache, and their song doesn't sound as sweet. It's not a super power, it's just a bit different. It can be used or celebrated (like sight is with painting for instance) or ignored as much as possible if it's distracting or overwhelming in the moment.

I feel that synesthesia is a gift. I am excited to know that there is a lot more research and interest surrounding the different forms. I know that many synesthetes are also on the spectrum though I have never been diagnosed with this so not all synesthetes are autistic. Thank you for your research , good luck with your paper

This is a big surprise you are not a synesthete! Hello, I'm from Mexico just wanted to let you know I feel grateful there is people studying this type of perception with a more psychologist/scientific view. When I found out I was a synesthete there was not a lot of information. Feels lovely to share emotions and views without thinking you are crazy! If you are ever interested in having wine tastings with live painting or other synesthete activities

One should be kind to others, especially if he doesn't understand them.

It is simply a different way of perceiving the world. Not better or worse. Just different.

That synaesthetes sees the world differently, it can be fun, it can be overwhelming. Some of us don't like crowded place as it can be overwhelming and suffocating, we sometimes get tired easier and it's not because of anything else but the multiple amount of sensory stimulations we receive at every second or moment we are awake.

Je ne me permettrais pas de parler de la synesthésie en générale car je suis loin d'être une experte. Bien que je sois née ainsi et que je vive depuis 38 ans maintenant avec ce cerveau, je me sens très novice sur le sujet. Je continue d'explorer, d'analyser en particulier mon type de synesthésie qui reste un des plus rares et un des moins documenté. Il faudrait sortir de ce grand secret dans lequel évolue la plupart des synesthètes, pour sensibiliser un maximum de personnes neurotypiques et synesthètes inconscients. Il n'y a qu'en informant et en libérant la parole qu'on pourra pallier les préjugés et le scepticisme autour de la question. Favoriser le partage entre les synesthètes également pourrait venir combler parfois, le manque de documentation sur un type particulier. C'est un travail de longue haleine pour que nous puissions toutes et tous sortir progressivement de ce sentiment de peur, voire de honte parfois dans lequel chaque synesthète conscient s'enferme de manière instinctive.

Un grand merci à toi Raphael. Merci de contribuer à travers tes recherches au travail sur l'information et la sensibilisation de la synesthésie et par ton mémoire de venir étoffer la documentation sur le sujet.

Au plaisir de te lire et de te voir soutenir.

It feels like magic but also that there somehow is a deep philosophical side to it that allows to ask big questions.

Synaesthesia is real. And it's a great condition to explore how different our brain's work. Understanding Synaesthesia will help us understand other neurodivergent conditions.

It would be helpful to keep in mind that everyone experiences synaesthesia differently and try to be understanding and patient if at some point people feel overwhelmed by it :)

I don't know about other synaesthetes but for me, my synesthesia is more than just perception, or just seeing colors. It's like livers, without it the body will fail. Almost every bodily function runs through it. My synesthesia is like my mental liver. Without my synesthesia I won't work. It's a lot bigger than a brain wiring thing. I hope I make sense lol thanks Raphaël! Good luck with your research!

Thank you so much for asking! Synesthesia, like many other neurodiverse experiences, manifests itself differently for everyone. For me with chromesthesia, there are a lot of colors and motions in my mind, and it's such an exciting experience! I would ask that you continue approaching synesthesia with curiosity, empathy (from one soul wanting to reach another), and space. Recognize that someone's synesthesia could make them feel more overwhelmed or overstimulated than a non-synesthete, and provide space for those occasions. Thank you!!

Raphael doit en savoir surement plus que moi sur la synesthésie aujourd'hui vu que c'est lui qui m'en a parlé pour la première fois. Donc non rien de plus à ajouter, merci de vous pencher sur le sujet c'est top ! En espérant en savoir plus et avoir accès aux résultats de cette étude :)

Merci :))

ACQUISITIONS IRM FONCTIONNELLES

Le 7 mai 2024, les équipes du Toulouse Neuro-Imaging Center (ToNIC) ont permis et accueilli une étude dans le cadre de ce mémoire, visant à observer les phénomènes synesthésiques grâce à l'imagerie médicale. Le ToNIC est une Unité Mixte de Recherche (UMR) liée à l'Institut National de la Santé Et de la Recherche Médicale (INSERM) et à l'Université Paul-Sabatier de Toulouse. Elle est implantée dans le Pavillon Baudot, au coeur du site hospitalier de Purpan à Toulouse.

Fiche de suivi - Sujet synesthète

	Enregistrement	Référence :
	Fiche de suivi d'un examen d'IRM au PT	EN_PS02_SuiviExamen

N° ID* :	9550
Date :	07/05/2024
Code du volontaire ** :	9550_VALIDIRM_PM_62
<i>* : N° base de données : numéro incrémenté par le PT correspondant à l'ID dans la base de données Philips</i> <i>** : Tel que défini par le protocole</i>	
Titre court / Acronyme du protocole RBM :	9550_VALIDIRM_PM_62

DÉROULEMENT DE L'EXAMEN		
Heure de début : 10H05	Heure de fin : 11H05	
SERIE	COMMENTAIRES DEROULEMENT DE L'ACQUISITION	COMMENTAIRES ANALYSES VISUELLES DES IMAGES
1-2 SURVEY	OK	OK
2 3D SAG T1	OK	OK
3 TASK 4 DR	DECALAGE 1 TR /STIMULATION NOIR ET BLANC	OK
4 TASK 4 DR	LUMIERE ETEINTE A PARTIR DU SECOND RUN NOIR ET BLA	OK
5 TASK 4 DR	COULEUR LUMIERE ETEINTE	OK
6 TASK 4DR	COULEUR LUMIERE ETEINTE	OK
7 TASK 4DR	NOIR ET BLANC LUMIERE ETEINTE	OK

Figure 78.1. ToNIC : Fiche de suivi d'examen d'IRM pour le sujet synesthète, 2024

Fiche de suivi - Sujet non synesthète

	Enregistrement	Référence :
	Fiche de suivi d'un examen d'IRM au PT	

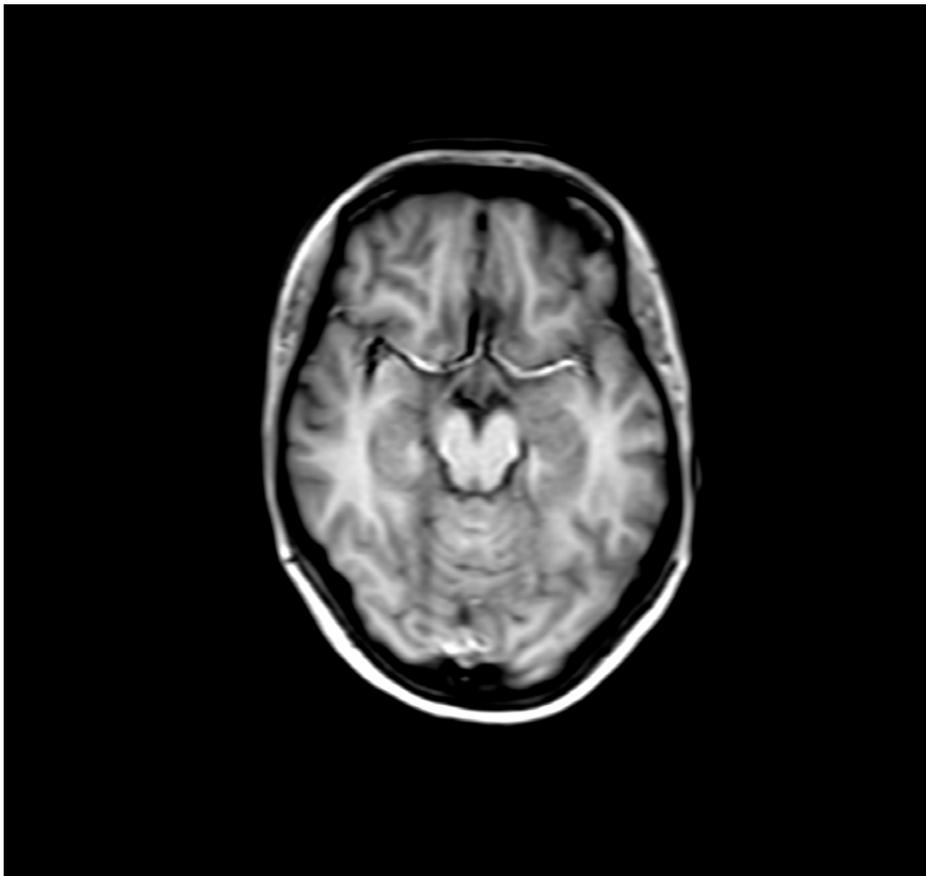
N° ID* :	9551
Date :	07/05/2024
Code du volontaire ** :	9551_VALIDIRM_DM_63
* : N° base de données : numéro incrémenté par le PT correspondant à l'ID dans la base de données Philips	
** : Tel que défini par le protocole	
Titre court / Acronyme du protocole RBM :	9551_VALIDIRM_DM_63

DÉROULEMENT DE L'EXAMEN		
Heure de début : 11H05	Heure de fin : 12H10	
SERIE	COMMENTAIRES DEROULEMENT DE L'ACQUISITION	COMMENTAIRES ANALYSES VISUELLES DES IMAGES
1 SURVEY	OK	OK
	EXAMEN REALISE LUMERE ETIENTE POUR	TOUTES LES SEQUENCES
2 3D SAG T1	OK	OK
3 TASK	NOIR ET BLANC	OK
4 TASK	NOIR ET BLANC	OK
5 TASK	COULEUR	OK
6 TASK	COULEUR	OK
7 TASK	NOIR ET BLANC	OK
8 TASK	COULEUR	OK
9 TASK	NOIR ET BLANC	OK

Figure 78.2. ToNIC : Fiche de suivi d'examen d'IRM pour le sujet non synesthète, 2024



Figure 79. BOURDA Raphaël : Plateau IRMf du ToNIC (INSERM) à Toulouse. Derrière la vitre, la salle de contrôle IRM, photographie numérique, 2024



Figures 80, 81. ToNIC, pour Raphaël Bourda : *Acquisitions anatomiques de centrage préalable (T1_3D) du sujet synesthète. En haut, coupe sagittale. En bas, coupe coronale.*
ToNIC (INSERM), Pavillon Baudot, CHU de Purpan, Toulouse, Imageries par Résonance Magnétique (IRM), 7 mai 2024

Stimuli Expérience 1 - Localisation de l'aire V4, sous-région fonctionnelle du cortex visuel occipital

Paradigmes en blocs - 5 min d'expérience

répétitions de la séquence suivante : 10 diapositives de 3 secondes chacune avec déclencheur, 10 diapositives de 3 secondes chacune sans déclencheur.



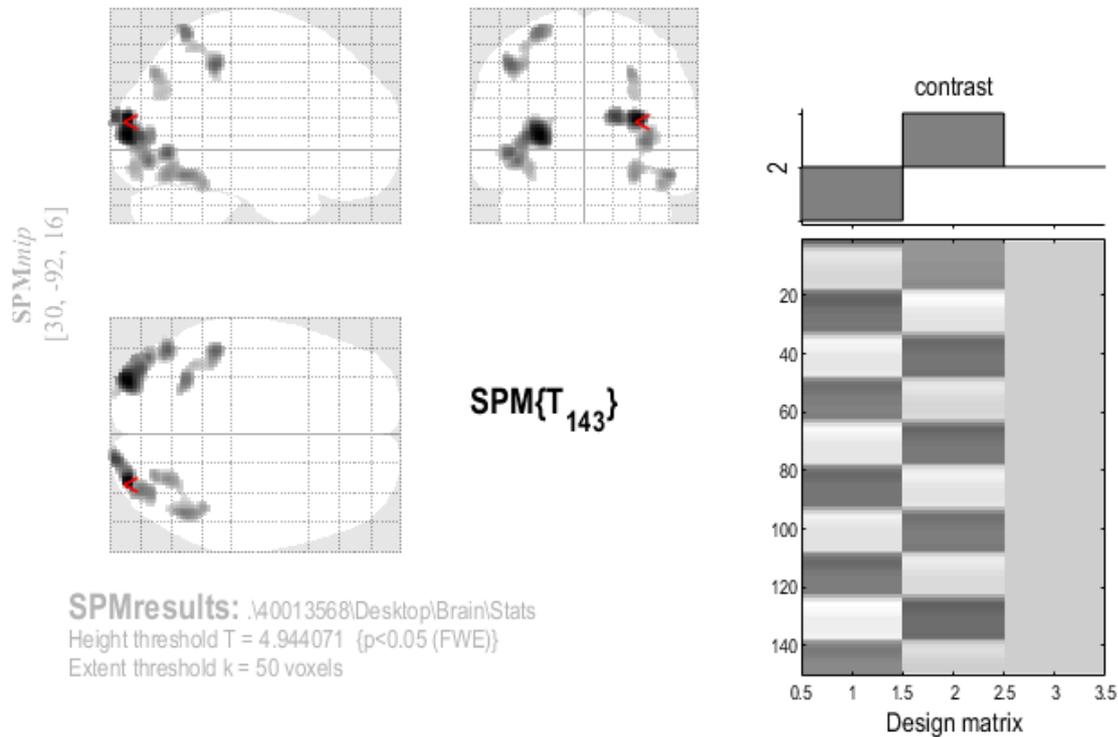
Stimuli Expérience 2 - Observation de l'activation neuronale au niveau de V4 lors d'un phénomène synesthésique graphème-couleur

Paradigmes en blocs - 5 min d'expérience

répétitions de la séquence suivante : 10 diapositives de 3 secondes chacune avec déclencheur, 10 diapositives de 3 secondes chacune sans déclencheur.



Latin / Others - Synesthete



Statistics: *p-values adjusted for search volume*

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
<i>p</i>	<i>c</i>	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>q</i> _{FDR-corr}	<i>k</i> _E	<i>p</i> _{Uncorr}	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>q</i> _{FDR-corr}	<i>T</i>	(<i>Z</i> _E)	<i>p</i> _{Uncorr}			
0.000	6	0.000	0.000	375	0.000	0.000	0.000	8.13	7.36	0.000	30	-92	16
						0.000	0.000	7.17	6.61	0.000	16	-100	18
						0.000	0.004	6.45	6.03	0.000	34	-84	4
		0.000	0.000	810	0.000	0.000	0.000	8.04	7.29	0.000	-28	-92	8
						0.000	0.002	6.76	6.29	0.000	-46	-68	-4
						0.000	0.004	6.51	6.08	0.000	-42	-80	-8
		0.000	0.000	251	0.000	0.000	0.002	6.73	6.26	0.000	-46	-40	48
						0.000	0.004	6.47	6.05	0.000	-30	-58	68
		0.000	0.000	176	0.000	0.007	0.172	5.46	5.19	0.000	-38	-52	58
		0.000	0.000	106	0.000	0.000	0.006	6.37	5.96	0.000	48	-58	-16
						0.001	0.045	5.84	5.52	0.000	44	-48	-20
		0.000	0.000	111	0.000	0.000	0.017	6.11	5.75	0.000	28	-68	-16
		0.000	0.000	111	0.000	0.001	0.029	5.96	5.62	0.000	26	-76	42
						0.007	0.178	5.43	5.17	0.000	26	-70	32

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

Height threshold: *T* = 4.94, *p* = 0.000 (0.050)
 Extent threshold: *k* = 50 voxels, *p* = 0.002 (0.000)
 Expected voxels per cluster, <*k*> = 4.501
 Expected number of clusters, <*c*> = 0.00
 FWEp: 4.944, FDRp: 5.842, FWEc: 3, FDRc: 28

Degrees of freedom = [1.0, 143.0]
 FWHM = 11.3 11.4 9.8 mm mm mm; 5.7 5.7 4.9 {voxels}
 Volume: 1660000 = 207500 voxels = 1223.1 resels
 Voxel size: 2.0 2.0 2.0 mm mm mm; (resel = 157.80 voxels)

Figure 84. Dr. CARMICHAEL Duncan A. / ToNIC / BOURDA Raphaël : Résultats obtenus après traitement pour le sujet synesthète, capture d'écran SPM Matlab, 2024.

Latin / Others - Synesthete

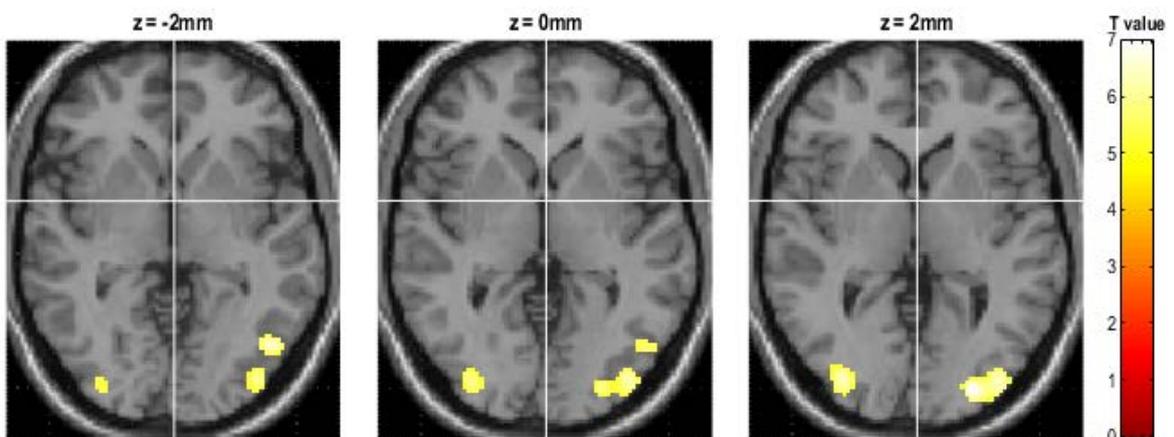
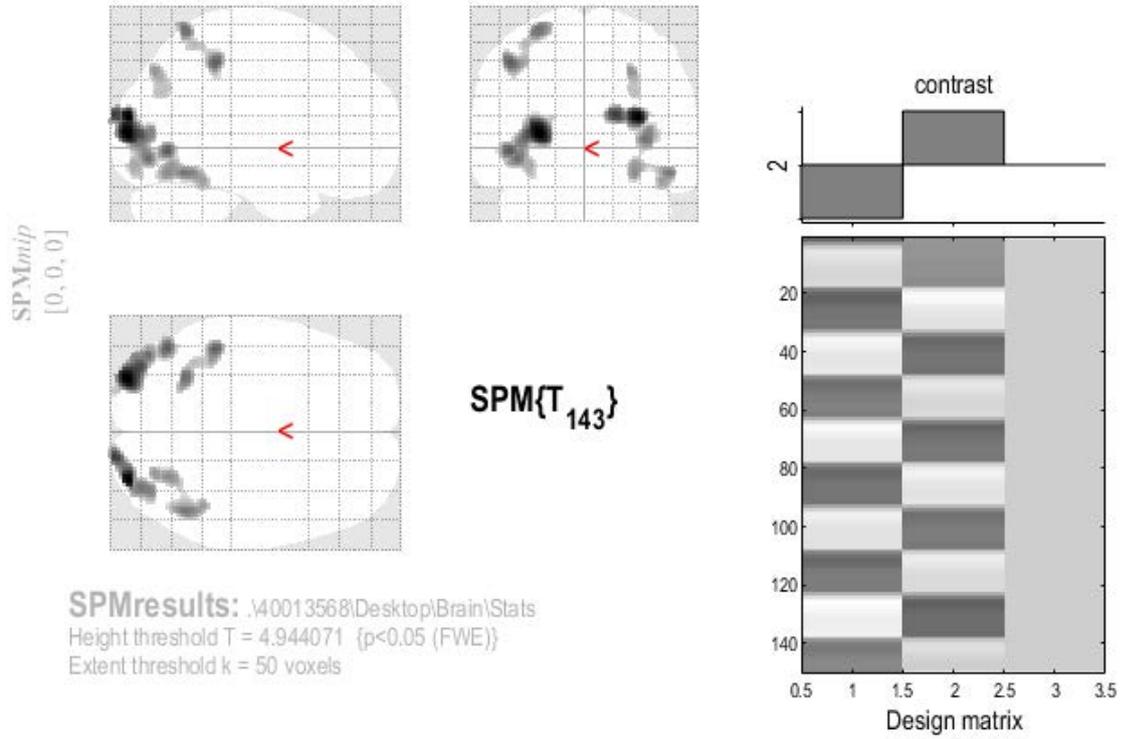


Figure 85. Dr. CARMICHAEL Duncan A. / ToNIC / BOURDA Raphaël : Résultats obtenus après traitement pour le sujet synesthète, capture d'écran SPM Matlab, 2024.

Latin / Others - Synesthete

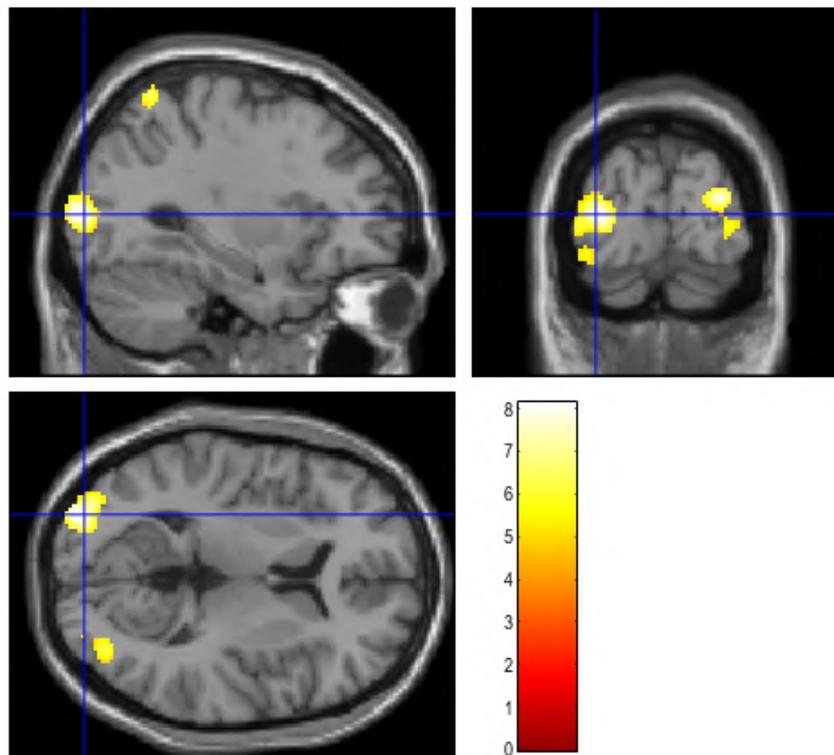
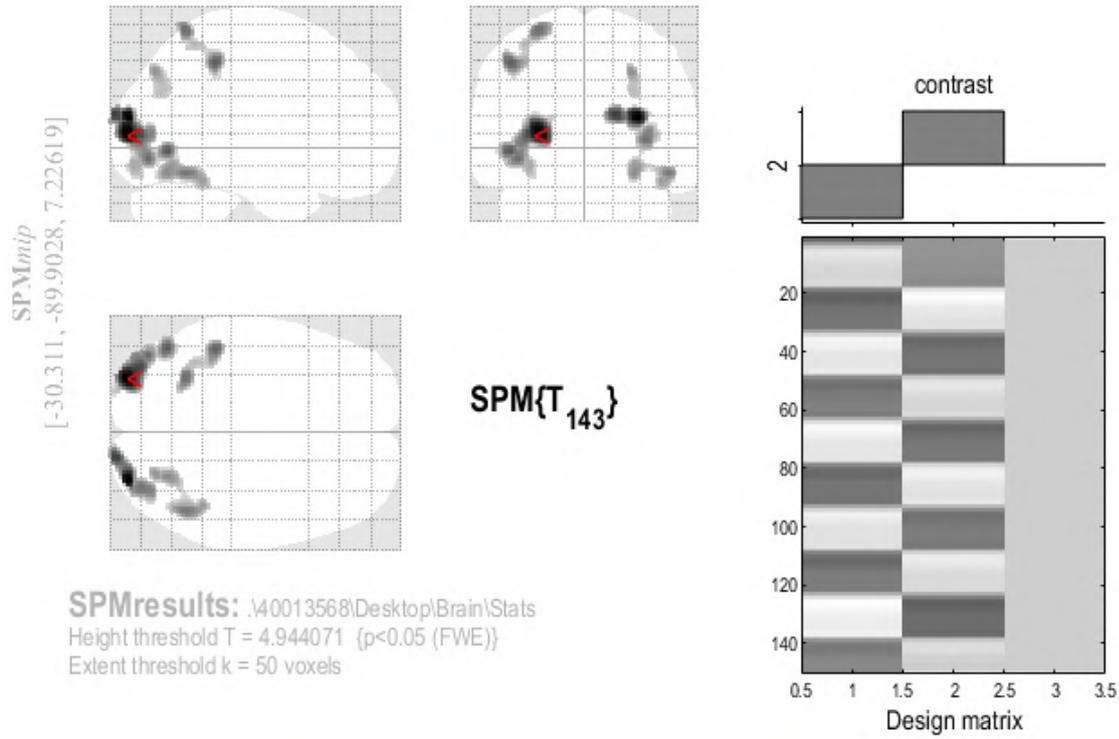


Figure 86. Dr. CARMICHAEL Duncan A. / ToNIC / BOURDA Raphaël : Résultats obtenus après traitement pour le sujet synesthète, capture d'écran SPM Matlab, 2024.

Latin / Others - Synesthete

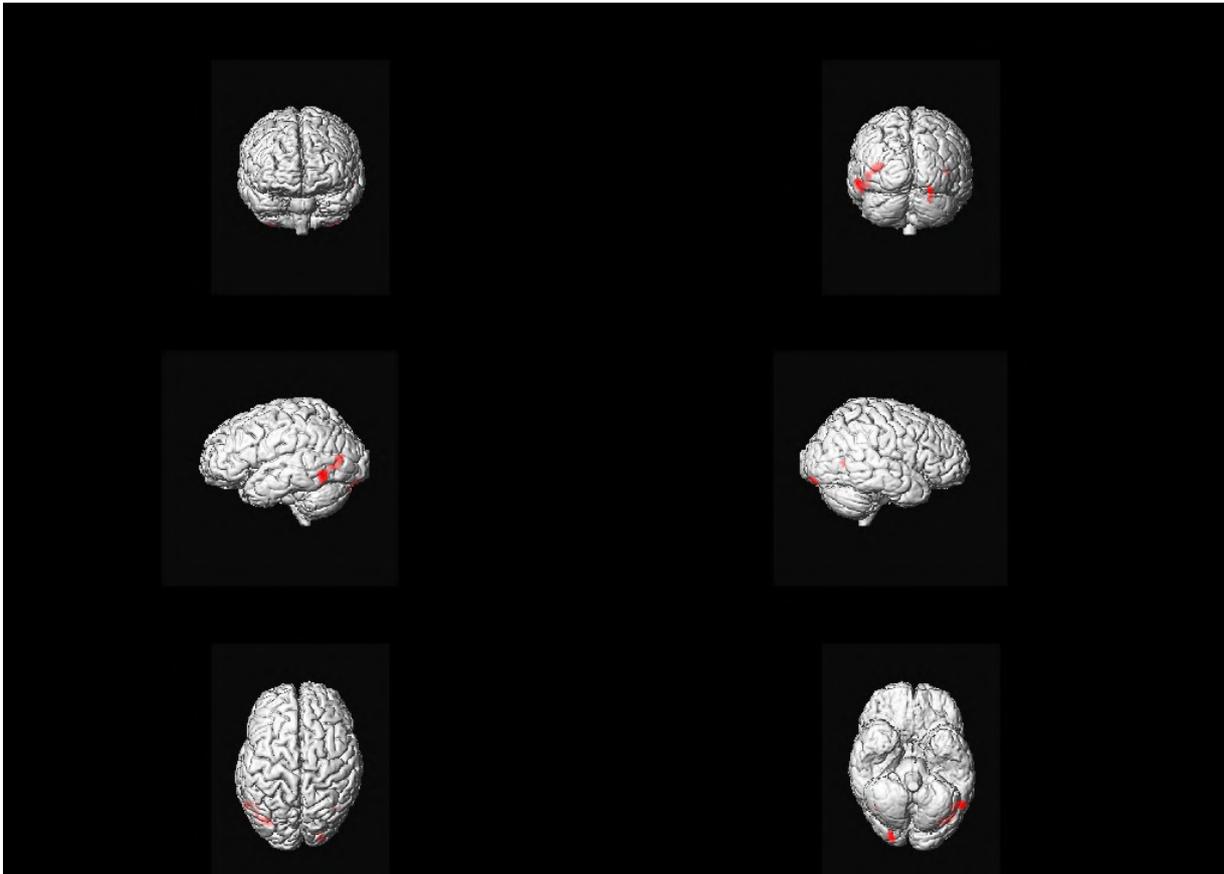
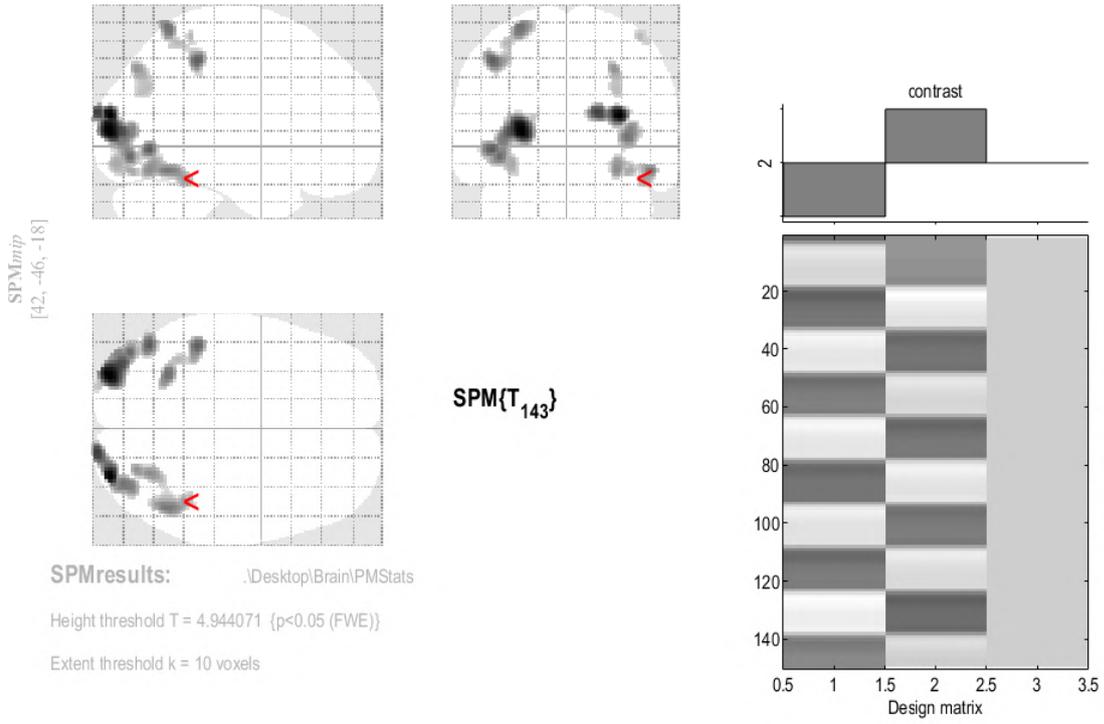
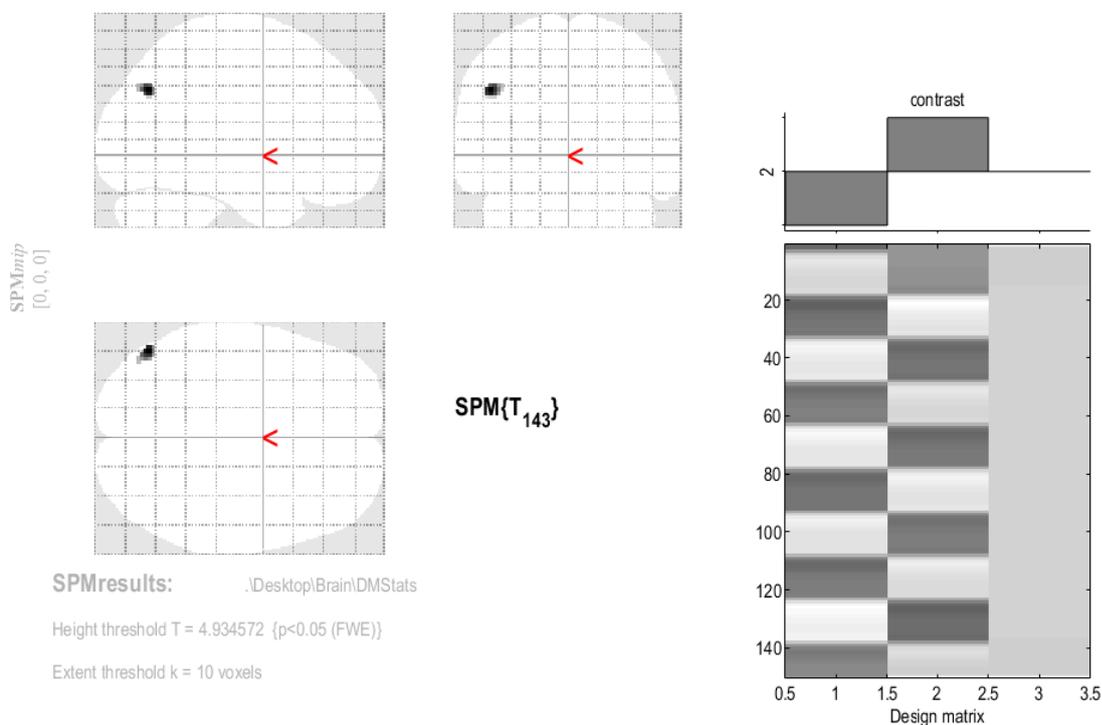


Figure 87. Dr. CARMICHAEL Duncan A. / ToNIC / BOURDA Raphaël : Résultats obtenus après traitement pour le sujet synesthète, capture d'écran SPM Matlab, 2024.

Latin / Others - Control test



Statistics: *p-values adjusted for search volume*

cluster-level				peak-level					mm mm mm		
$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	T	(Z_E)	p_{uncorr}			
0.001	0.012	33	0.012	0.008	0.166	5.39	5.13	0.000	-48	-70	36

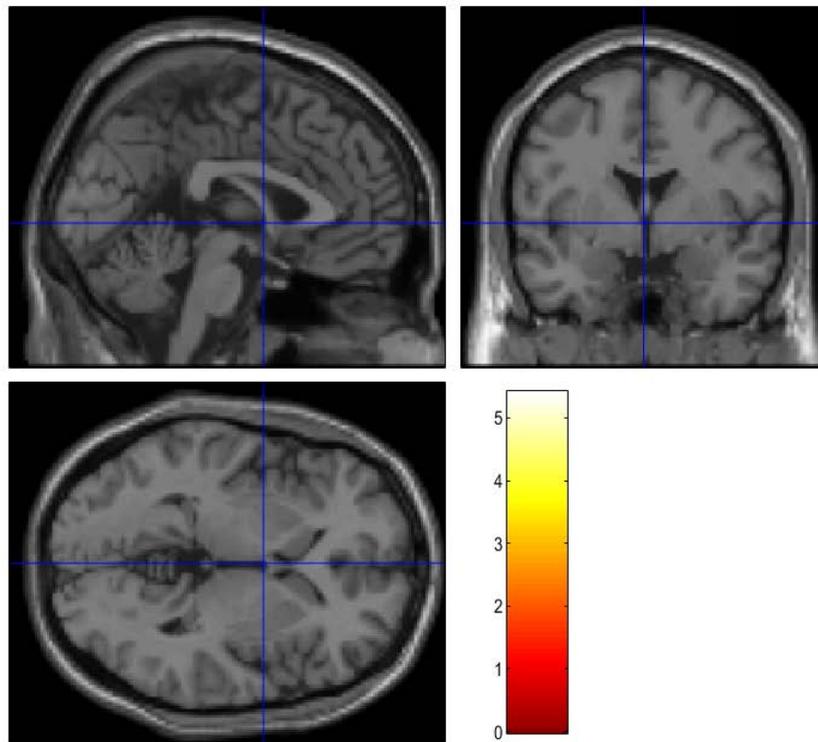
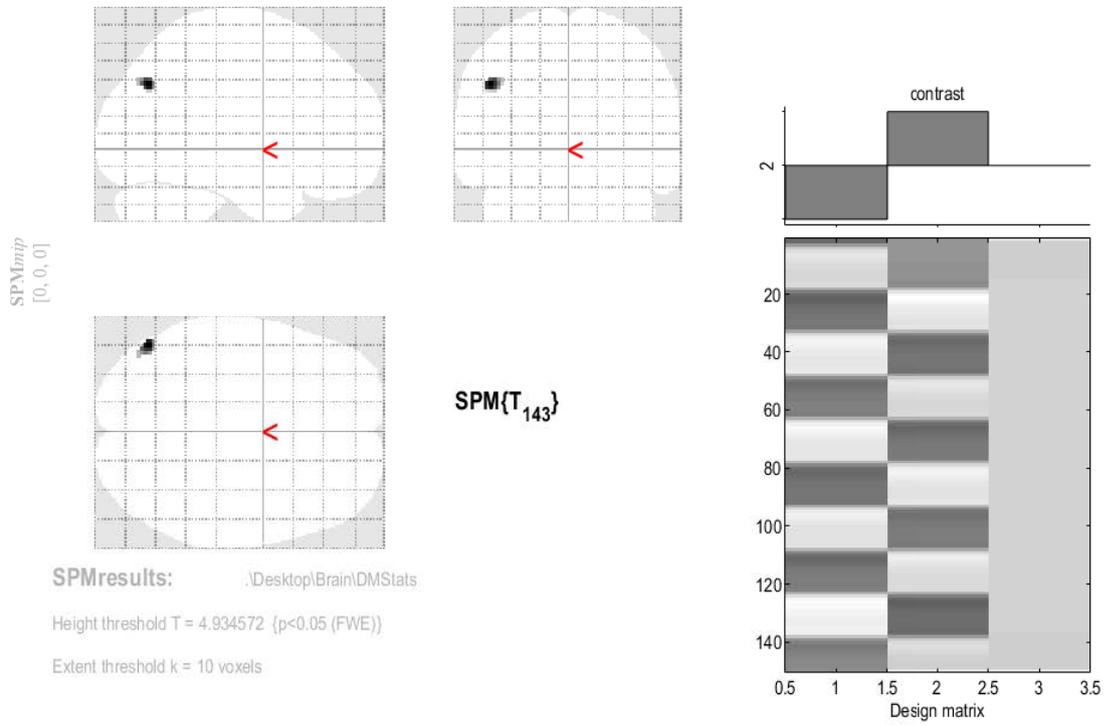
table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

Height threshold: $T = 4.93$, $p = 0.000$ (0.050)
 Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.138$ (0.007)
 Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 4.768$
 Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 0.01$
 FWEp: 4.935, FDRp: Inf, FWEc: 33, FDRc: 33

Degrees of freedom = [1.0, 143.0]
 FWHM = 11.5 11.6 10.0 mm mm mm; 5.7 5.8 5.0 (voxels)
 Volume: 1682032 = 210254 voxels = 1175.5 resels
 Voxel size: 2.0 2.0 2.0 mm mm mm; (resel = 166.21 voxels)

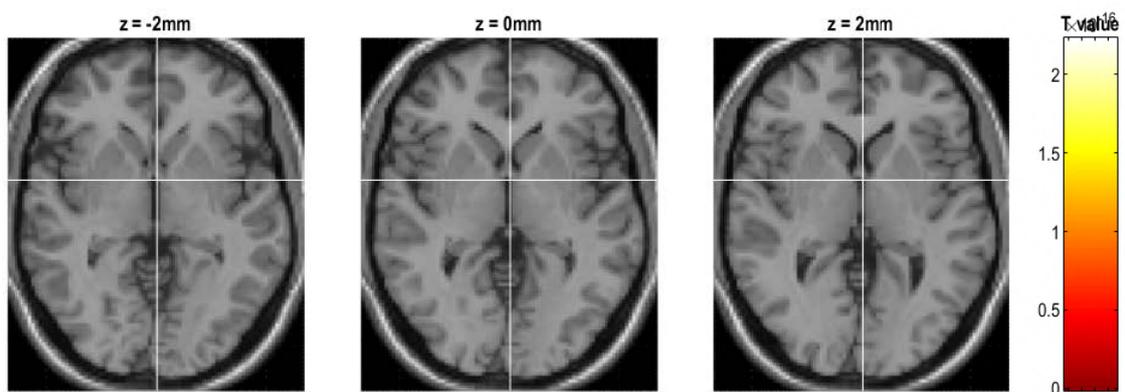
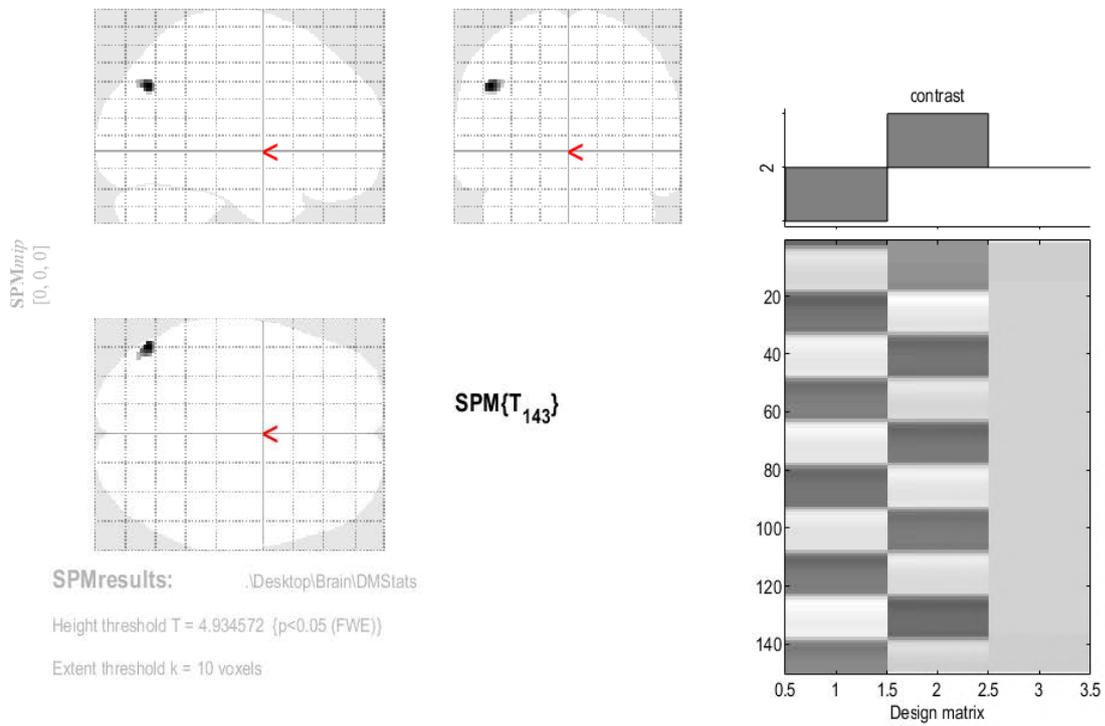
Figure 88. Dr. CARMICHAEL Duncan A. / ToNIC / BOURDA Raphaël : *Résultats obtenus après traitement pour le sujet non synesthète (control test)*, capture d'écran SPM Matlab, 2024

Latin / Others - Control test



Figures 89. Dr. CARMICHAEL Duncan A. / ToNIC / BOURDA Raphaël : Résultats obtenus après traitement pour le sujet non synesthète (control test), capture d'écran SPM Matlab, 2024

Latin / Others - Control test



Figures 90. Dr. CARMICHAEL Duncan A. / ToNIC / BOURDA Raphaël : Résultats obtenus après traitement pour le sujet non synesthète (control test), capture d'écran SPM Matlab, 2024

COLLOQUE INTERNATIONAL SUR LA SYNESTHÉSIE - Oxford, Angleterre

Les 10, 11 et 12 mai 2024 se tenait un colloque international conjointement organisé par les associations américaines et britanniques : American Synesthesia Association Incorporation (ASA) et United-Kingdom Synesthesia Association (UKSA).

L'évènement « UKSA/ASA World Synesthesia Conference » accueilli par l'Université d'Oxford en Angleterre s'est déroulé au Somerville College.



Figure 91. UKSA : Somerville College à Oxford, Angleterre, photographie numérique, sans date.



Figure 92. BOURDA Raphaël : Badge de participant, photographie numérique, 2024.

Le programme des conférences, indexé dans les pages suivantes, détaille les 50 conférences et prises de parole données par des chercheurs et chercheuses majeurs dans le paysage de la recherche synesthésique, par des artistes, des curateurs, des psychologues, des journalistes, des scientifiques en neurosciences, perception et cognition, ainsi que différentes tables rondes et présentations de posters scientifiques. Plus de vingt-cinq pays ont été représentés.

Ce déplacement a notamment été l'occasion de rencontrer Sean A. Day (chercheur et professeur au Trident Technical College en Caroline du Sud, États-Unis), Jamie Ward (chercheur et professeur de cognition et neurosciences à l'Université du Sussex, Angleterre) et Julia Simner (chercheuse et professeure de neuropsychologie à l'Université du Sussex, Angleterre) dont les travaux publiés lors des dernières décennies - très spécialisés sur les questions synesthésiques - ont grandement alimenté la bibliographie de ce mémoire. Pouvoir échanger, questionner et m'entretenir avec ces chercheurs et chercheuses de renommée internationale était une opportunité exceptionnelle.

D'autres conférences en lien avec les associations sensorielles intermodales ont été proposées par des artistes - synesthètes pour la plupart - qui s'emparent de ces correspondances dans leur expression artistique. Charles Spence, directeur du laboratoire « Crossmodal Research Laboratory » et professeur à l'Université d'Oxford a par ailleurs donné une conférence sur la perception intermodale en psychologie.



Figure 93. BOURDA Raphaël : *UKSA/ASA World Synesthesia Conference*, Flora Anderson Hall, Somerville College à Oxford, Angleterre, photographie numérique, 2024.

Par ailleurs, cet évènement international est caractérisé par une audience dans laquelle la

prévalence de la synesthésie atteint plus de 60% (contre moins de 4% dans la population globale). Ces trois jours ont ainsi été constamment rythmés par des rencontres d'individus synesthètes aux profils, aux origines et aux parcours diamétralement opposés. Leurs regards sur ce mémoire, leurs conseils, les discussions que nous avons pu avoir et la vie du quotidien que nous avons partagée ont représenté une immersion et un gain conséquent de connaissances et de compréhension de ces phénomènes.



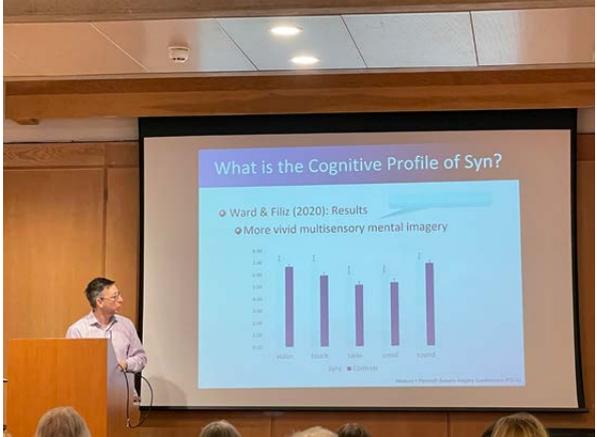
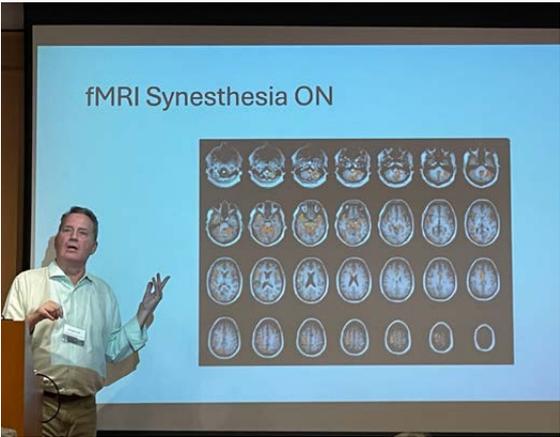
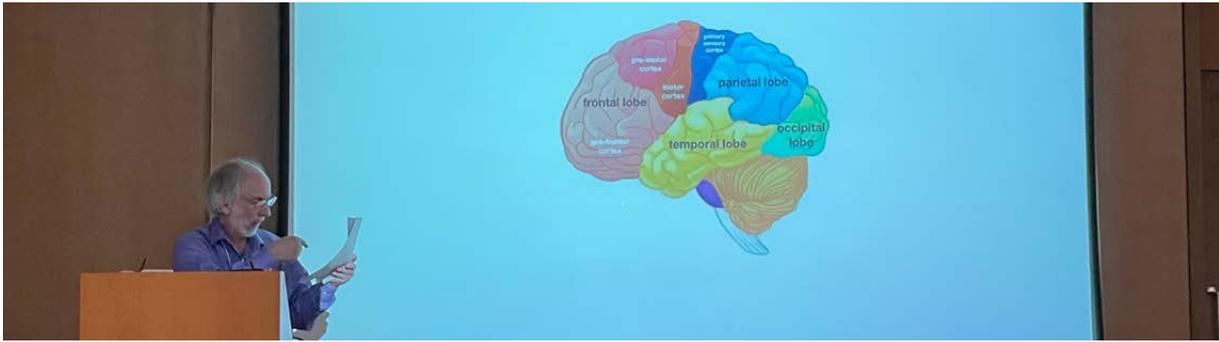
Figure 94. BOURDA Raphaël : *Flora Anderson Hall, Somerville College, Oxford, Angleterre, photographie numérique, 2024*



Figure 95. BOURDA Raphaël : *Somerville College Campus, Oxford, Angleterre, photographie numérique, 2024*



Figure 96. BOURDA Raphaël : *Posters scientifiques présentés par des étudiants doctorants (PhD) internationaux, Oxford, Angleterre, photographie numérique, 2024*



Figures 97, 98, 99, 100, 101. BOURDA Raphaël : *Aperçus des conférences respectives de Sean A. Day, George Scott, Jamie Ward, Charles Spence et Julia Simner, Oxford, Angleterre, photographies numériques, 2024*

UK Synaesthesia
Association and
American Synesthesia
Association, Inc.

First Joint International Synaesthesia Conference

Somerville College,
University of Oxford, UK

May 10 –12, 2024

*Organized and Made Possible by Charles Spence; Members of the UKSA:
James Wannerton, Julia Simner, and Jamie Ward; and the Board Members
of the ASA: Carol J. Steen, Greta Berman, Greg Jarvis, and Daphne Maurer*

Somerville College
University of Oxford, UK
May 10 – 12, 2024

Friday May 10, 2024

8:00AM – 9:00AM	Flora Anderson Hall At the Door UKSA/ASA Conference Registration until 9:00AM
9:00AM – 9:15AM	WELCOME Charles Spence, Conference Host James Wannerton, UKSA President Carol J. Steen, ASA Co-Founder and President
9:15AM – 9:40AM	Jennifer Stevenson Trent University, Ontario, Canada; Fleming College, Peterborough, Canada <i>The Summer Months are Behind Me (literally): A First-Hand Account of Time-Space Synaesthesia</i>
9:40AM – 10:05AM	Pau Sandham Sevilla, Spain Publisher The Synesthesia Tree <i>Dancing Tastes in Spain. Reporting, classifying experiencing and expressing taste-to-shape synesthesia</i>
10:05AM – 10:30AM	Christine Söffing Head of the EMU-Ensemble, Ulm University, Germany <i>Red Sounds, pink taste and maygreen fragrances. Visual Artworks and Soundscapes</i>
10:30AM – 10:50AM	MID MORNING BREAK
10:50AM – 11:15AM	Carol J. Steen Touro University, New York City <i>Synesthetic Photisms, Hypnagogic, and Hypnopomic Visions: An Updated Comparison</i>
11:15AM – 11:40AM	Beat Meier University of Bern, Switzerland <i>Hypnagogic experiences are more prevalent in synaesthesia</i>
11:40AM – 12:05PM	David Luke University of Greenwich, UK <i>Psychedelic-induced synaesthesia: Five studies</i>

Somerville College
University of Oxford, UK
May 10 – 12, 2024

Friday May 10, 2024 continued

12:05PM – 1:35PM

LUNCH BREAK

12:30PM – 1:35PM

Maïke Preißing
Brittain Williams Room
Germany
Psychologist, Neurodiversity Coach, Synaesthesia Artist and Podcast Host
Podcast introduction: "Let's talk synesthesia" Live Podcast episode

Alexandra Kirschner, Pascal Acker
Flora Anderson Hall
Alexandra Kirschner¹, Aurelius Sängerknaben Calw², 1Germany; Pascal Acker², 2Germany
Film "Konzeptthesia", a documentary on Synesthesia

1:35PM – 2:35PM

POSTER PRESENTERS:
Flora Anderson Hall

Aurore Dupont-Sagorin
Paris, France
Documentary Filmmaker, Artist
Exploring Mirror-Pain Synesthesia: A Personal Journey and Perspective

Sayaka Harashima
Tokyo, Japan
Sayaka Harashima¹, Michiko Asano¹, 1Department of Psychology, Graduate School of Humanities and Sociology, The University of Tokyo, Japan
Investigating characteristics of cross-modal semantic processing in synaesthetes

Evelynn Harra
California College of the Arts Visual and Critical Studies,
San Francisco
Applying the lens and language of synesthesia to artwork

Sofie Imer Jespersen
Aalborg University, Denmark
Sofie Imer Jespersen¹, Aurore Zelazny^{1,2}, Thomas Alrik Sørensen^{1,2,3}
1Centre for Cognitive Neuroscience, Department for Communication and Psychology, Aalborg University, Aalborg, Denmark; 2Sino-Danish College (SDC), University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, China; 3Cognitive Neuroscience Research Unit, Center for Functionally Integrative Neuroscience, Aarhus University, Aarhus, Denmark
Exploring Colour-Shape Associations: Individual Variation in Colour Preferences

Somerville College
University of Oxford, UK
May 10 – 12, 2024

Friday May 10, 2024 continued

Ann LePore
Ramapo College of New Jersey, United States
Visual Experiences in Place of Language Gaps - Hahn's Synesthetic Experience of Loom

Luke Lucas
London Metropolitan University, UK
Do Synaesthetes Experience Multiple Cross-Modal Correspondences? Particularly Between Sound, Shape and Emotion?

Cristóbal C. Martínez
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Functional Synaesthetics: A Synaesthetic Approach to Understanding the Relationship Between Music and Architecture

Stefan Moredal – Unable to Present
Aalborg University, Denmark
Stefan Moredal¹, Thomas Alrik Sørensen^{1,2,3}, Aurore Zelazny^{1,2}, 1Centre for Cognitive Neuroscience, Department for Communication and Psychology, Aalborg University, Aalborg, Denmark; 2Sino-Danish College (SDC), University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, China; 3Cognitive Neuroscience Research Unit, Center for Functional Integrative Neuroscience, Aarhus University, Aarhus, Denmark
Investigating whether colours can facilitate notational sight-reading acquisition

Valeria Perboni
Brunel University, London, UK
Dominik Havsteen-Franklin¹, Valeria Perboni¹, 1Brunel University, London, UK
Exploring the Role of Arts in Facilitating Synaesthetic Experiences: Implications for Relationality and Cross-Modal Perception

Svetlana Rudenko
Dublin, Ireland
Svetlana Rudenko¹, Xiangpeng Fu², Mads Haahr², 1Haunted Planet Studios, Dublin, Durham University Music Science Lab, UK; 2Trinity College Dublin
De Chirico: Metaphysical Art MR - Methodology for Multisensory Audio Visual Composition in Mixed Reality

Adriana Chachi Salcedo
Lima, Peru
Experimental induction of synesthesia and its relationship with attentional capacity

Somerville College
University of Oxford, UK
May 10 – 12, 2024

Friday May 10, 2024 continued

Mamoru Watanabe
University of Bristol, UK
Synaesthesia in Human-Computer Interaction: Exploring Design Possibilities

Aurore Zelazny
Aalborg University, Denmark
Aurore Zelazny^{1,2}, Xun Liu³, Thomas Alrik Sørensen^{1,2,4}, 1Centre for Cognitive Neuroscience, Department for Communication and Psychology, Aalborg University, Aalborg, Denmark; 2Sino-Danish College (SDC), University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, China; 3Department of Psychology, University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing, China; 4Cognitive Neuroscience Research Unit, Center for Functional Integrative Neuroscience, Aarhus University, Aarhus, Denmark
Performances on the synesthesia Stroop task in associator synesthetes and non-synesthetes

Yijia Zhang
University of Amsterdam, Netherlands
Yijia Zhang¹, Nicholas Root¹, 1Brain and Cognitive Sciences, University of Amsterdam
Putting the (Colored) Pieces Together: The Multicolored Synesthetic Experience of Chinese Characters

2:35PM – 3:00PM
Nancy Weekly
Curator, Head of Collections, Burchfield Penney Art Center,
Buffalo, New York
Charles Burchfield's Synesthetic Art Legacy

3:00PM – 3:25PM
Greta Berman
The Juilliard School, New York City, New York
Kandinsky Through the Musician's Lens

3:25PM – 3:50PM
Michael Haverkamp
Independent researcher, Germany
Synaesthetic artists of "Farbe-Ton-Forschung" (colour-tone-research) in Germany 1925-36

3:50PM – 4:10PM
MID AFTERNOON BREAK

4:10PM – 5:10PM
Charles Spence *Keynote Speaker*
Crossmodal Research Laboratory, University of Oxford, UK
What role crossmodal correspondences in 'synaesthetic design/marketing'?

Somerville College
University of Oxford, UK
May 10 – 12, 2024

Friday May 10, 2024 continued

6:00PM – 8:00PM RECEPTION
Brittain Williams Room

Saturday May 11, 2024

8:00AM – 9:00AM Flora Anderson Hall
At the Door UKSA/ASA Conference Registration until 9:00AM

9:00AM – 9:25AM Nicholas Root
University of Amsterdam
Nicholas Root¹, Romke Rouw¹, The Cross-Language Synesthesia Consortium, 1Department of Psychology, University of Amsterdam
How language shapes grapheme-color associations: insights from a large international study of synesthetes in over 20 of the world's languages

9:25AM – 9:50AM Janina Neufeld
Karolinska Institutet, Stockholm, Sweden
Janina Neufeld¹, Hjalmar Nobel Norrman², Manuel Oliva¹, Tessa van Leeuwen^{3,4}, 1Center of Neurodevelopmental Disorders (KIND), Centre for Psychiatry Research, Department of Women's and Children's Health, Karolinska Institutet, Stockholm Health Care Services, Region Stockholm, Sweden; 2Swedish Collegium for Advanced Study (SCAS), Uppsala, Sweden; 3Tilburg School of Humanities and Digital Sciences, Department of Communication and Cognition, Tilburg University, The Netherlands; 4Donders Institute for Brain, Cognition and Behaviour, Radboud University The Netherlands
Synaesthesia, perception, and mental health - how are they linked? Investigating the genetic and environmental influences in twins

9:50AM – 10:15AM Jasmin Rani Sinha
Belgium
Coach for synaesthesia, giftedness, and high sensitivity
Tailored Coaching for Synaesthetes

10:15AM – 10:35AM MID MORNING BREAK

Somerville College
University of Oxford, UK
May 10 – 12, 2024

Saturday May 11, 2024 continued

10:35AM – 11:00AM	Romke Rouw University of Amsterdam, The Netherlands Romke Rouw ¹ , Nicholas Root ¹ , Nina Vreugdenhil ¹ , Edward de Haan ^{1,2} , 1Brain & Cognition, Department of Psychology, University of Amsterdam; 2Donders Institute, Radboud University Nijmegen <i>Can you touch red? Cross-modal 'translation' of visual features into tactile surface properties</i>
11:00AM – 11:25AM	Helena Melero Universidad Complutense de Madrid, Spain <i>Motor Cognition and Synesthesia: Beyond the Senses</i>
11:25AM – 12:25PM	Daphne Maurer <i>Keynote Speaker</i> McMaster University, Canada <i>What synaesthesia can teach us about why we like some songs, faces, foods, plays, pictures, poems, etc., and dislike others</i>
12:25PM – 2:00PM	LUNCH BREAK
1:00PM – 2:00PM	CC Hart Neurodiversity advocate, artist, and author Flora Anderson Hall <i>Workshop: Colour me hurt and the sound of sore, A panel discussion on pain synaesthetics</i> <i>Panelists:</i> Janet Bultitude, Department of Psychology, University of Bath, UK; CC Hart, Columbia University, New York City; Carol J. Steen, Touro University, New York City; Jamie Ward, Department of Psychology, University of Sussex, UK
2:00PM – 2:25PM	Patricia Lynne Duffy United Nations Language and Communications Unit, New York City <i>Synesthetes on Stage: Portrayals of synesthetes and other anomalous perceivers in recent theater</i>
2:25PM – 2:50PM	Effie Zografou Elgabry American Community School of Athens, Greece <i>Diary of a Synaesthete: Entries of the past and present</i>

Somerville College
University of Oxford, UK
May 10 – 12, 2024

Saturday May 11, 2024 continued

2:50PM – 3:15PM	Ninghui Xiong Painting Music Art Synaesthesia Studio, China Ninghui Xiong ¹ , Tianchi Luan ² , Bei Song ² , 1Painting Music Art Synaesthesia Studio, China; 2Harbin Conservatory of Music, China <i>An Outlook on Birdsong/Flower Fragrance Experimental Synaesthesia Paintings and their Aesthetic/Somatic Significance</i>
3:15PM – 3:35PM	MID AFTERNOON BREAK
3:35PM – 4:00PM	Greg Jarvis Durham College, Toronto, Canada <i>Meeting of Synesthetic Minds</i>
4:00PM – 4:25PM	Abiola Ogunsanwo Founder Synesthesia Society of Africa, Lagos, Nigeria Abiola Ogunsanwo ¹ , Celsus Sente ² , 1Founder Synesthesia Society of Africa; 2Makerere University, Uganda <i>Strategies for promoting awareness of synesthesia in Africa</i>
4:25PM – 4:50PM	Sean Day Trident Technical College, Charleston, South Carolina <i>Towards addressing the significant lack of most possible types of congenital synesthesia</i>
4:50PM – 5:15PM	George Scott Toronto, Canada <i>Acquired Synesthesia: A Firsthand Perspective</i>
5:30PM – 6:30PM	<i>Synaesthesia and Autism – Gift or Curse?</i> Panel Discussion Julia Simner, Jamie Ward, Romke Rouw, James Wannerton, Maïke Preißing
7:15PM – 7:45PM	DRINKS RECEPTION FOR THOSE ATTENDING THE BANQUET Brittain Williams Room
7:45PM – 10:00PM	BANQUET DINNER Somerville College Dining Hall <i>Reservations required</i>

Somerville College
University of Oxford, UK
May 10 – 12, 2024

Sunday May 12, 2024

8:00AM – 9:00AM	Flora Anderson Hall At the Door UKSA/ASA Conference Registration until 9:00AM
9:00AM – 10:00AM	Jamie Ward and Julia Simner <i>Keynote Speakers</i> University of Sussex, UK <i>Synaesthesia as Tool for Understanding Variation in the Mind & Brain</i>
10:00AM – 10:25AM	Yi-Chuan Chen MacKay Medical College, New Taipei City, Taiwan Yi-Chuan Chen ¹ , Pi-Chun Huang ² , Yang-Chen Shen ² , Yen-Han Chang ² , Mingxue Zhao ² , Charles Spence ³ , 1Department of Medicine, MacKay Medical College, New Taipei City, Taiwan; 2Department of Psychology, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan; 3Department of Psychology, University of Oxford, Oxford, UK <i>Crossmodal Correspondences between Sounds and Shapes: Mid-level Processing</i>
10:25AM – 10:50AM	Bei Song Harbin Conservatory of Music, Heilongjiang Province, China Bei Song ¹ , Tianchi Luan ¹ , 1Harbin Conservatory of Music, China <i>Mechanisms and Effects of Audio-Visual Synesthesia in the Aesthetic Process</i>
10:50AM – 11:10AM	MID MORNING BREAK
11:10AM – 11:35AM	Avery Raquel Berklee College of Music, Valencia, Spain <i>Synesthesia in the Creative Process - Creating music with colour</i>
11:35AM – 12:00PM	Trini Krpan University College London, UK Trini Krpan ¹ , Qinxin Xie ¹ , Yizhi Wang ¹ , University College London <i>Taste of Memories: A VR Journey into Synaesthesia</i>
12:00PM – 1:30PM	LUNCH BREAK
12:30PM – 1:30PM	Trini Krpan Brittain Williams Room University College London, UK <i>VR Interactive Demonstration Workshop</i>

Somerville College
University of Oxford, UK
May 10 – 12, 2024

Sunday May 12, 2024 continued

12:30PM – 1:30PM	Svetlana Rudenko, Mads Haahr Brittain Williams Room Svetlana Rudenko ¹ , Mads Haahr ² , 1Haunted Planet Studios, Durham University Music Science Lab, UK; 2Trinity College Dublin <i>Interactive Demonstration: Synaesthesia Gallery: Augmented Reality (AR) art gallery</i>
1:30PM – 1:55PM	Corin Anderson University of the Highlands and Islands, Scotland <i>Photisms: Composing Electronic Music with Synaesthesia</i>
1:55PM – 2:20PM	Umut Eldem Royal Conservatoire Antwerp, Belgium <i>Hearing Glass: Synaesthetic and Cross-Modal Correspondences in the Musical Practice</i>
2:20PM – 2:45PM	Chhavi Sachdeva, Emily Whelan Brighton, UK Chhavi Sachdeva ^{1*} , Emily Whelan ^{2*} , Rebecca Ovalle-Fresa ¹ , Nicolas Rothen ^{1**} , and Jamie Ward ^{2**} , 1Faculty of Psychology, UniDistance Suisse, Brig, Switzerland; 2School of Psychology, University of Sussex, Brighton, UK*; Chhavi Sachdeva and Emily Whelan contributed equally to this work. **These authors share joint last authorship. <i>How perceptual ability shapes memory: An investigation in healthy special populations</i>
2:45PM – 3:05PM	MID AFTERNOON BREAK <i>Moyra Sonley Early Career Prize in Multisensory Art or Science</i> Prize winner announcement
3:05PM – 3:30PM	Maura McDonnell Trinity College, Dublin, Ireland <i>Composing Colours and Motion</i>
3:30PM – 4:00PM	Solange Glasser Melbourne Conservatorium of Music, Australia Solange Glasser ¹ , Margaret S. Osborne ^{1,2} , Amanda E. Krause ^{1,3} 1Melbourne Conservatorium of Music, The University of Melbourne; 2Melbourne School of Psychological Sciences, The University of Melbourne; 3Department of Psychology, James Cook University <i>High levels of synaesthetic endorsement in a study on music listening styles</i>
4:00PM –	FAREWELL

TRANSCRIPTION D'ENTRETIEN

Profil Spécifique.

Visioconférence du mardi 5 mars 2024 avec Daniela UHL via l'application Zoom.

Les échanges ont été menés en anglais, transcrits, traduits en français puis raccourcis dans un souci d'efficacité, à partir d'un entretien d'1h30.

Le texte en gras correspond aux réponses de Daniela UHL.

[...]

Comment avez-vous trouvé le formulaire ? Comment l'avez-vous reçu ? Merci d'y avoir répondu !

- Grâce à Maïke !

- Sur Instagram ?

- Je l'ai trouvé, je crois, via une story sur Instagram, mais aussi grâce à l'association allemande de la synesthésie. Vous savez, ils ont également envoyé un e-mail disant que vous cherchiez des personnes

- Oui, c'est ça ! Je suis très reconnaissant que l'association allemande ait envoyé un e-mail. J'ai lu l'e-mail, mais je n'ai pas compris un seul mot parce qu'il est écrit en allemand bien sûr ! Donc c'est pratique que vous parliez aussi anglais. Mais oui, j'en suis ravi. Et j'ai reçu votre réponse parmi une quarantaine d'autres. Mon mémoire comprendra une première partie sur la synesthésie en général. Je vais m'adresser à des gens qui n'ont parfois jamais entendu le mot synesthésie et qui ne savent parfois pas ce que c'est.

J'ai donc une première partie avec toutes ces explications, et j'ai envoyé à tout le monde un questionnaire par la suite, que je ne vous ai pas envoyé parce que je voulais vous rencontrer en personne. Vous avez la forme de synesthésie que je recherche, car il s'agit d'un master en

photographie. Vous savez, c'est le monde des images sur lequel je devais me concentrer dans ma deuxième partie, donc une forme de synesthésie liée à la vision. C'est rare et vous l'avez. Donc je voulais vous rencontrer en personne. Je vous ai envoyé les questions que je m'apprête à vous poser pour que vous puissiez en prendre connaissance avant notre rencontre. Vous savez, ce n'est pas un test ou un examen, il n'y aura pas de bonne ou de mauvaise réponse. Je suis ravi de vous rencontrer.

- Oui, j'ai eu le temps d'y réfléchir. Je me suis aussi noté quelques réponses sur mon téléphone, ici, et des mots en anglais pour en parler.

- Super ! Pourriez-vous me re-lister les formes de synesthésie que vous avez ? Je veux dire, au moins celles dont vous avez connaissance.

- Oui, c'est une longue liste et je découvre de nouvelles formes avec le temps parce que je ne connais la synesthésie que depuis 2 ans. Avant, je pensais être une sorte d'alien sur Terre parce que je ne perçois pas le monde comme les autres. Mais maintenant je sais de quoi il s'agit, et j'ai une grande connexion entre ma vue, mon ouïe et mes émotions qui se manifeste de diverses manières. J'ai aussi une forme de synesthésie « miror touch¹ » qui n'est pas forcément géniale tous les jours... [...] C'est comme quand... Je ne peux pas regarder des films télévisés dans lesquels un docteur incise un corps avec un couteau parce que je le sens. Ça fait mal, dans mon corps. Ou quand mon fils saigne ou qu'il se gratte quelque part, je ne peux pas regarder parce qu'à l'instant où je le vois, je le sens. Et ce n'est pas génial.

- Est-ce que cela se produit systématiquement avec tout le monde ou seulement avec votre famille ou vos proches ?

- C'est avec tout le monde. J'ai juste besoin de le voir pour que ça se produise. C'est aussi à la télévision. C'est pour ça que je ne regarde que des films qui ne sont pas déconseillés aux plus de 12 ans. Parce que normalement, je suis sûr que je ne verrai pas quelque chose qui fera mal.

1

La synesthésie appelée « miror-touch » (toucher miroir) est une forme de synesthésie visuo-tactile.

- Oui je vois, sans violence, ni torture, etc. Donc tu as une forme « miror-touch ». Vous m'avez aussi parlé d'une Personnification Ordinale Linguistique (POL) ?

- Oui. Et aussi « ticker tape ». Vous connaissez ? Je vois des mots et des choses écrites dans mon esprit lorsque je parle, ou que je parcours mes souvenirs, ou que ma pensée prend une forme écrite.

- Est-ce que les mots que vous voyez sont sur le même plan, en quelque sorte, que la petite voix dans la tête que beaucoup de personnes ont quand elles lisent, ou pensent ? Est-ce que ce sont des signaux internes dans votre esprit, ou percevez-vous les mots et « sous-titres » dans votre environnement, en 3D ? [...]

- Non, c'est dans ma tête.

- D'accord, donc quand je vous parle là, en ce moment, vous voyez des mots écrits au fur et à mesure que je les prononce ?

- Quand je me concentre dessus, oui.

- D'accord. Ok. Donc vous pouvez vous concentrer sur autre chose, et ne plus les percevoir ?

- C'est en fait pareil que tout le reste de la synesthésie. C'est comme... Vous avez un bouton à tourner (potentiomètre) sur les radios pour monter le volume du son. Comme un régulateur que vous pouvez monter ou baisser selon votre attention.

- Qu'en est-il de votre synesthésie vision-son et son-vision ? Vous l'avez dans les deux sens ?

- Oui, dans les deux sens.

- C'est rare !

- Oui. Et, vous savez, j'ai rencontré une seule personne dans notre association qui a une synesthésie du même niveau, et nous nous sommes juste... nous nous sommes rencontrés,

et c'était comme... Comme un aimant. Nous ne nous connaissions pas avant, et c'était comme un... un aimant. Nous avons parlé plus tard et pleuré parce que c'était tellement comme... « mon Dieu, tu existes, c'est tellement bien ».

Donc j'ai aussi eu la confirmation que c'était vraiment réel et j'aime toujours rencontrer de nouvelles personnes synesthètes.

- Oui, c'est pour ça que les associations, les regroupements, et les comptes comme ceux de Maïke, ou son podcast... sont super ! Je me demandais, est-ce que tu dirais que tout ce que tu perçois via la synesthésie sont des associations automatiques, systématiques, sur toutes les formes que tu as ?

- Je dirais ça, oui. La seule chose que je peux réguler, c'est que lorsque je me concentre dessus, c'est davantage présent. Et parfois, il y a vraiment beaucoup de choses : je me concentre sur une d'entre elles, et les autres deviennent plus discrètes, mais elles sont toujours là. Vous voyez ? Comme en arrière-plan.

- D'accord. Donc ça dépend de là où se porte votre attention. Est-ce que c'est comme quand on est dans une pièce avec beaucoup de personnes, vous savez, où vous avez 100 personnes, mais que vous pouvez suivre une conversation avec un petit groupe ? Comme des gens qui parlent autour dans un restaurant autour. Vous les entendez, mais vous ne vous concentrez pas sur ce qu'ils disent ?

- Oui !

- Avez-vous d'autres traits de neurodivergence, neuroatypicité quels qu'ils soient ?

- Oui. Donc j'en ai parlé avec ma famille et j'ai découvert que ces choses sont connectées. Je ne le savais pas avant. J'ai un oncle dyslexique, j'ai un cousin avec un TDAH, et je pense que c'est pareil pour moi. Nous avons de nombreux cas de, je pense, « haut potentiel ». Donc je suis aussi haut potentiel et très, très sensible. Et vous savez, grâce à Maïke, je sais que j'ai aussi une hyperphantasie, parce que... Elle a posté quelque chose à ce sujet, je pense il y a quelques semaines. Je ne sais pas si c'est aussi une sorte de neuroatypicité, si

c'en fait partie, mais ce n'est pas tout le monde...

- Ça signifie que quand on parle d'éléments, comme d'une pomme, ou d'autre chose, vous la visualisez parfaitement ?

- Claire comme du cristal, oui. Limpide.

[...]

- Comment avez-vous découvert que vous étiez synesthète ?

- Alors, j'ai pris conscience que quelque chose était différent quand j'étais enfant et je me souviens d'une situation très claire en classe 2 ou 3 (système scolaire allemand). Il y avait une exposition avec des images, des peintures très abstraites dans mon école et c'était très calme. J'étais seule et j'ai regardé les images. A ce moment-là, elles ont commencé à chanter et je m'en souviens encore aujourd'hui tellement j'ai été surprise J'y ai repensé ensuite, et je pense que c'est à peu près à ce moment-là que ma synesthésie s'est... en quelque sorte... pleinement activée.

[...]

- Quel âge aviez-vous ?

- Six... Sept ? Sept. Autour de sept. [...] Je ne sais pas si c'était déjà comme ça avant, mais le premier souvenir que j'ai de la synesthésie remonte à mes sept ans.

- Et que pensez-vous que cela fait, de ne pas être synesthète ? Comme moi. A quoi pensez-vous que ma perception ressemble ?

- Très calme, et peut-être ennuyeuse. Pour moi, si j'imagine un monde sans la synesthésie, ce serait très silencieux et juste comme... une plaine plate. Et moi je vis dans les montagnes avec des fleurs, plein de choses, tout est coloré. Sans la synesthésie, j'aurais peur de trouver

ça horrible, très ennuyeux et plat. Banal ?

- Eh bien je ne peux pas vous le dire, vous savez ! Je le souhaite. J'aimerais avoir accès à la synesthésie également. Pas en avoir une connaissance complète parce que je ne peux pas m'immiscer dans le cerveau de quelqu'un, bien sûr, mais simplement avec une simulation, ou quelque chose qui permettrait de se la représenter, de la rendre accessible. Et c'est l'essence de ce projet.

[...]

Savez-vous si votre perception a pu influencer votre compréhension ou votre perception d'une oeuvre et vous conduire à une lecture différente du reste du public ? Et comment percevez-vous cela ? Plutôt comme une sorte de richesse qui rend votre perception unique, ou est-ce que cela pourrait être un moyen de passer à côté d'une partie du message de l'artiste ? Qu'en pensez-vous ?

- Je pense que... C'est arrivé souvent dans le passé que je parle aux gens de quelque chose... J'aime beaucoup la musique et les poèmes... Et souvent j'ai la perception que je peux ressentir l'artiste quand il peignait le tableau par exemple. C'est comme si je pouvais traverser. Je regarde à la première personne le tableau avec un sentiment de grande profondeur...

- C'est plutôt un super-pouvoir enrichissant, alors !

- Complètement. C'est très riche, c'est super. Et ça va très profondément, c'est très, très touchant. Je ressens ça aussi avec les films, les oeuvres, la musique... Je me sens extrêmement connectée à ça, à l'art.

- Vous savez, je vous pose la question parce que j'ai rencontré une personne synesthète, il y a un an peut-être, qui a une synesthésie vision-son. Et elle adore la musique et elle va voir des concerts pour voir ses groupes préférés jouer. Mais quand elle y va, elle ferme les yeux ou utilise quelque chose pour se bander les yeux parce qu'elle perçoit le son et la musique venant du groupe mais aussi, toutes les lumières et les lasers du show qui interfèrent. Ça se mélange avec la musique jouée...

- Oui, c'est pareil. Je me souviens quand j'avais à peu près sept ans, ma mère adorait un groupe de musique qui joue avec plein d'instruments et relativement peu de voix. Et moi aussi, j'adorais à l'époque. Je fermais les fenêtres pour être dans l'obscurité, et je prenais le casque audio de ma mère qui était trop grand pour moi. Je fermais les yeux, et quand j'entendais la musique, je commençais à danser parce que la plupart du temps, la synesthésie est dans mon esprit, mais quand j'écoute de la musique et que je ferme les yeux, c'est comme si j'entrais dans une pièce où toutes les couleurs sont autour de moi, et je... Je peux danser dans cette salle colorée. C'est comme si les limites de mon esprit s'épanouissaient. Je me sens tellement connectée à la musique, aux couleurs...

- Oh wow ! Dans ce cas, la synesthésie est vraiment projetée en 3D autour de vous, dans votre environnement ?

- Oui. Normalement c'est dans ma tête. C'est plus ou moins la seule situation dans laquelle ma synesthésie est projective. A l'extérieur de mon esprit.

- D'accord, ok, c'est très intéressant. J'allais vous demander justement si les réponses synesthésiques s'apparentaient plutôt à des objets mentaux internes, ou à des signaux projetés et spatialisés, et vous venez de répondre.

- J'ai eu une situation très drôle. Je suis amoureuse de la musique de Hans Zimmer, je suppose que vous connaissez ?

- Bien sûr !

- Et il était à Cologne, il y a quelques années, et j'avais acheté les meilleurs billets. Je voulais le voir. Je voulais être au premier rang et en profiter. Et je... Je suis rentré chez moi avant que ça commence. Tous ces gens, c'était juste trop, trop pour moi. Donc je suis rentré chez moi parce que c'était comme... toute la salle vibrait ! Il se produisait dans une grande salle. Et c'était... c'était trop... c'est trop. Donc je peux vraiment comprendre ce que vous avez décrit pour la personne qui portait un masque sur les yeux.

- Trop de stimulations ? (*too overwhelming?*)

- Oui, exactement.

- J'aimerais qu'on parle un peu de votre forme de synesthésie vision-son. Y a-t-il des déclencheurs spécifiques ? Est-ce que vous diriez que c'est particulièrement lié aux mouvements, aux couleurs, aux formes, aux textures ? Comment ça se passe pour vous ?

- Je ne pourrais pas vraiment dire que quelque chose soit « déclencheur » mais c'est plus simple à observer lorsque l'environnement est calme. Comme quand on parlait de nombreuses personnes dans une pièce sur lesquelles on ne se concentre pas, mes yeux voient des choses toute la journée donc je pense que j'ai besoin d'un certain espace calme pour activer la synesthésie et la dissocier du reste, ou plutôt augmenter son volume, la rendre plus forte.

- Sinon, comme vous disiez, c'est en arrière-plan ?

- Oui, la plupart du temps c'est en arrière-plan. Cette forme de synesthésie fait partie de celles sur lesquelles je dois me concentrer un peu plus. Et j'ai des sons plus clairs avec des peintures abstraites par exemples. C'est très lié aux couleurs. J'avais fait le test avec un étudiant ici en Allemagne. Elle est photographe elle-aussi et elle m'a envoyé des photos en noir et blanc qu'elle avait prises, parce qu'on voulait voir.. « À quel point c'est lié aux couleurs ? » On a observé que les couleurs étaient très importantes...

... pour que tu observes un signal synesthésique ?

- Oui, les couleurs sont très importantes.

- Donc les couleurs sont des stimuli majeurs, d'accord. Est-ce que les associations sont constantes ? Est-ce qu'un rouge fera toujours le même son, à tous les coups ?

- Disons que si c'est un rond rouge, ce sera toujours pareil. Mais un triangle rouge sonnera

différemment.

- Et si on considère votre synesthésie inverse, la forme son-vision... Si un son peut produire un rond rouge, ou un triangle rouge... Est-ce que les connexions sont les mêmes ? Est-ce que ça fonctionne de la même façon dans les deux sens ?

- Je ne... Je ne saurais pas vous dire, je ne sais pas. Mais ça serait intéressant ! Wow.

[...]

Je connais par Instagram une autre fille, Zoe, très connectée à Maïke. Elle a aussi une forme son-vision et elle dessine parfois à partir de chansons, et de ce qu'elle entend. Et très souvent, ça correspond à 100% à ce que je vois ! Et c'est vraiment intéressant parce que beaucoup disent que la synesthésie est différente d'une personne à une autre. Et sur ce point, je ne suis pas d'accord. Je ne pense pas.

[...]

Zoe a aussi posté des images sur Instagram pour la communauté synesthète, montrant par le dessin ce qu'elle perçoit durant ses douleurs menstruelles. J'ai lu les commentaires en-dessous, et tellement de personnes ont la même perception, comme moi ! Mon Dieu, 100%. Ça ressemble exactement à ce que je perçois. Donc je pense que ça ne peut pas être une coïncidence.

- Avez-vous une idée de raison qui pourrait expliquer cela ? Une hypothèse personnelle ?

- Je pense que plein de gens ressentent la même chose parce que c'est lié à des histoires de fréquences. Vous savez, les couleurs ont une fréquence, tout a une fréquence... Pas seulement les couleurs. Il y a une personne dont je suivais le travail, en Chine ou au Japon, qui faisait des images à partir de la cristallisation de l'eau. Selon les sons diffusés à la surface, les cristaux étaient différents. Pour moi les fréquences sont partout, même dans les formes, dans les mots, les émotions... Je pense que beaucoup de synesthètes ont une forme de sensibilité très grande vis-à-vis du monde qui nous entoure, et j'imagine qu'on peut peut-être voir ces fréquences, les sentir, quelque chose comme ça. Ça expliquerait pourquoi nos synesthésies sont parfois similaires.

[...]

- Accepteriez-vous, pour cette étude, d'essayer de caractériser votre perception ? Nous ne pouvons pas l'enregistrer dans sa totalité, vous le savez, mais si nous choisissons un certain nombre d'éléments, de couleurs et de formes, alors nous pouvons essayer. Je veux dire, cela n'a jamais vraiment été fait. Donc c'est... Il faut essayer ! Si vous êtes partante et prête à le faire avec moi. À la fin, nous aurons une simulation, une sorte de dispositif pour montrer des images sur un ordinateur, avec un appareil qui suit vos yeux, vous savez, un oculomètre. Et selon votre perception, que nous aurons caractérisée, les gens pourront avoir accès à une simulation de votre perception synesthésique. Nous pouvons peut-être rendre cela accessible. Peut-être. Accepteriez-vous d'y participer ?

- Oui ! Ça a l'air très cool !

[...]

- Ce serait un dispositif sur-mesure basé sur un petit programme que je développe, selon ce que nous parvenons à caractériser, etc. Il n'existe pas de protocole défini déjà connu, cela fait partie de mon mémoire d'établir tout ça.

- Vraiment, je suis ravie que vous me proposiez ça. J'adore ce genre de choses et je me suis toujours demandé comment je pouvais rendre ça accessible !

- Génial ! C'est super, est-ce que vous pourriez me rappeler où vous vivez ?

- Je suis à environ une heure de Munich.

- Est-ce que vous seriez d'accord à un moment donné de venir à Paris pour certaines phases de recherche, ou de me recevoir en Allemagne ? Je veux dire... Il y aura des expériences je suppose que nous ne pourrions pas mener à distance, en visio. Nous aurons besoin d'échanger et d'organiser d'autres appels, mais nous aurons besoin de se voir aussi, sans aucun doute.

- Oui, pas de souci. Ok. Il faut simplement qu'on regarde comment on peut faire. Pour moi, c'est toujours plus facile si vous venez parce que j'ai mon fils.

- Ce serait plus facile comme ça alors.

[...]

- D'un point de vue logistique, le mémoire doit être terminé à la fin du mois de mai. Ma soutenance sera en juin, donc nous avons quelques mois. Durant cette période, il faudra certainement que nous puissions échanger régulièrement.

[...]

- WhatsApp est le plus simple et le plus rapide pour me contacter et échanger. Et surtout, je peux vous envoyer des messages audio si besoin. Je peux probablement imiter ou chanter certains sons que je perçois quand je vois des images. Voilà mon numéro de téléphone.

- Merci beaucoup, je viens de le recevoir. C'est un numéro allemand, donc je dois ajouter...

- ... Plus quatre, neuf, +49.

- Super. Merci beaucoup ! Nous avons beaucoup à discuter, et je suis vraiment heureux que vous ayez accepté de collaborer ! Je vous enverrai un document que vous pourrez signer pour attester que vous êtes volontaire pour participer à l'étude. Si vous avez du temps devant vous, j'aimerais revenir aux quelques questions qu'il nous manquaient [...] Donc, lorsque vous parlez de synesthésie, avez-vous déjà rencontré de mauvaises réactions, des a priori ou du scepticisme ?

- Non, car je sais que je suis synesthète seulement depuis deux ans, et quand j'étais plus jeune, je ne pouvais pas vraiment en parler. C'était toujours quelque chose que je cachais. J'ai caché cela à tout le monde pour ne pas être mise à l'écart.

- D'accord.

- Et maintenant, depuis deux ans, j'en parle très ouvertement. Aussi, lorsque je postule pour des emplois, avec de nouveaux clients, j'en parle aussi ouvertement. Ça montre ma singularité. Et ça fonctionne très, très bien. Et les gens sont toujours intéressés parce que

la plupart d'entre eux n'en ont jamais entendu parler. Un jour, c'était très agréable. J'ai parlé un peu de synesthésie, et un homme d'environ 65 ans était là et il a dit « mon Dieu, je pensais être le seul comme ça, vous êtes la première que je rencontre ».

Maintenant, j'ai un mot pour ça. Je suis tellement reconnaissant. Et c'est tellement important de travailler à ma manière pour rendre cela plus public, parce que je pense que tant de gens ressentent les mêmes sentiments que j'avais dans le passé et ils se pensent que « quelque chose ne va pas avec moi » ou « je suis mauvais d'une certaine manière » et ils ne connaissent tout simplement pas le mot synesthésie et ne savent pas que c'est quelque chose, vous savez...

- ... Normal ?

- Oui, voilà. Pas une maladie, ou un handicap.

- Même si vous n'avez pas été confrontée à du scepticisme, quelle serait selon vous la meilleure réaction qu'une personne non synesthète pourrait avoir ?

- Je pense... être curieux à ce sujet et vouloir le connaître mieux. En plus, ils peuvent ensuite en parler, et peut-être rencontrer quelqu'un qui dit « mon B est bleu ou mon R est rouge », et dire « tu es synesthète ». Peut-être que l'autre personne ne connaît pas la synesthésie... La curiosité à ce sujet est la meilleure réaction.

- Et quel a été l'impact ou quel est encore aujourd'hui l'impact de la synesthésie sur votre vie ? Sur votre vie quotidienne, sur votre bien-être physique et mental, etc... Commençons par votre vie quotidienne. Vous savez, lorsque vous faites les courses ou que vous êtes simplement chez vous ou que vous regardez la télévision ou quoi que ce soit dans votre vie quotidienne, y a-t-il des impacts de la synesthésie ?

- Oui, comme on a dit précédemment, je suis très stricte en ce qui concerne « ce qui entre dans mon système » car beaucoup de choses me touchent profondément. Quand ça arrive, c'est difficile comme avec la synesthésie mirror-touch. J'évite tout type de violence car cela me hante aussi dans mes rêves. Quand quelque chose entre dans mon système par

n'importe quel sens, ça reste. J'ai eu une mauvaise expérience avec un certain type de film d'horreur quand j'avais 14 ans. Ce n'était tout simplement pas pour mon âge, mais cela m'a suivi longtemps.

- Vous en avez gardé un traumatisme sur un plan perceptif et sensoriel ?

- Oui. Par contre, il y a un très gros avantage, que j'ai découvert au fur et à mesure des mois à une époque. Je travaille beaucoup plus vite qu'une autre personne. À force de naviguer entre autant de signaux et de devoir gérer beaucoup de choses à la fois, je travaille très efficacement avec les systèmes, les réseaux, les processus de production dans les entreprises. Je suis bien organisée.

- Je comprends mieux votre expertise des chaînes logistiques pharmaceutiques ! Qu'en est-il de votre santé mentale ? Y a-t-il quoique ce soit que vous puissiez dire, en rapport avec la synesthésie ?

- Ce n'est pas extrêmement clair, mais je pense savoir faire face aux mauvaises situations. Il y a eu une étude d'une université en Allemagne qui a montré que les synesthètes ont un rapport singulier avec la santé mentale, avec moins de soucis liés à la dépression par exemple.

- Ce que je vais dire n'est qu'une hypothèse qui me traverse l'esprit, sans démonstration, mais pensez-vous que cela pourrait être lié au fait que les synesthètes sont davantage habitués à se concentrer sur ce qu'il se passe dans leur esprit, dans leur « monde intérieur » ? En se posant des questions sur ce qu'ils perçoivent et ressentent, ils sont peut-être plus familiers avec ce qu'il se passe dans leur tête qu'une autre personne qui a pu être amenée à se poser moins de questions ?

- Peut-être. Oui, ça me semble très pertinent, de mon point de vue. Oui ![...]

- Merci beaucoup pour toutes vos réponses, votre réactivité, et votre temps ! Et merci surtout pour la collaboration que nous allons commencer ensemble ! Vous savez, je ne peux pas lever

ma main droite et vous promettre que ça va marcher, mais ça vaut le coup d'essayer, ça fait partie de la recherche !

[...]

- Génial, je comprends parfaitement, merci à vous, nous restons en contact pour commencer tout ça. A très vite

- Très bien, bonne journée, merci encore !

- Au revoir, merci beaucoup.

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Oculomètre Tobii Pro Nano

Eye tracking technique	Video-based pupil and corneal reflection eye tracking with dark and bright pupil illumination modes. One camera captures images of both eyes for accurate measurement of eye gaze and eye position in 3D space, as well as pupil diameter.
Eye tracking mode	N/A (default)
Sampling frequency	60 Hz
Precision ¹	0.10° RMS in optimal conditions (using built-in filtering)
Accuracy ¹	0.3° in optimal conditions
Binocular eye tracking	Yes
Eye tracker latency	1 frame (immediate)
Blink recovery time	1 frame (immediate)
Gaze recovery time	250 ms
Data sample output	Timestamp, Gaze origin, Gaze point, Pupil diameter
Eye openness data stream	Not available
Eye image data stream	Not available
TTL input stream	Not available
Tracker and client time synchronization	Integrated between the eye tracker time domain and the client computer time domain
User calibration	Binocular

Head movement tolerance	Good; One-camera system provides an accurate calculation of the data and a good level of precision. More sensitive for head movement than the dual camera systems.
Operating distance (mounted on screen)	45 cm to 85 cm (18" to 33") from the eye tracker
Freedom of head movement (width × height)	<i>Freedom of head movement at 65 cm distance</i> 35 cm × 30 cm (13.78" × 11.81")
	<i>Freedom of head movement at 80 cm distance</i> 45 cm × 45 cm (17.7" × 17.7")
Optimal screen size	Up to 24" For large screens, the limiting parameter is the quality of the gaze accuracy at the upper corners of the screen when the user sits close to the screen.
Recommended monitor	N/A

Tracker setup options	Eye tracker mounted on a tripod, allows for even larger screens or physical objects to be tracked. The Mobile Testing Accessory enables research or usability tests on a mobile device.
Participant setup	Very simple and easy. Typically, less than 1 minute.

10.3 Software and framework compatibility

Software and framework compatibility	Tobii Pro Lab Tobii Pro Eye Tracker Manager Tobii Pro SDK Any application built on the Tobii Pro SDK
Operating system	Windows, macOS

10.4 Hardware versions

Single product version	60 Hz
------------------------	-------

10.5 Tobii Pro Nano eye tracker specifications

Dimensions (L x H x W)	17 cm x 1.8 cm x 1.3 cm (6.69" × 0.71" × 0.51")
Weight	59 g (2.1 oz)
Connectors	USB 2.0 Type A
Data processing	Tobii EyeChip™ with fully embedded data processing.
Eye tracker cameras	1

Source : Manuel d'Utilisation Tobii Pro Nano - pages 26 et 27 (10.2)

PARTIE PRATIQUE DE MÉMOIRE

VOXEL,

"Dans les yeux de Daniela"

VOXEL,

"Dans les yeux de Daniela"

Voxel \vɔk.sɛl\ *Nom masc.* : unité élémentaire d'une image tridimensionnelle. Le voxel est à l'image 3D ce que le pixel est à l'image 2D.
Etym. : contraction de "volume" et "pixel".
Plur. : voxels.

Après avoir étudié la perception de personnes dont les expériences sensorielles et perceptives sont uniques, après avoir observé ce qu'il se passe dans leur cerveau, voxel par voxel, cette installation invite le public à redéfinir ce que signifie "voir les images" et à se plonger dans les yeux d'une autre personne.

La plupart d'entre nous possèdent des barrières opaques entre nos sens. Nous percevons les éléments visuels grâce à nos yeux, nous entendons le monde qui nous entoure grâce à nos oreilles et les odeurs ne sont perçues que par le fonctionnement de notre système olfactif.

Pour certaines personnes que l'on appelle "les synesthètes", ces barrières sont plus souples, plus flexibles, voire totalement absentes et donnent lieu à une perception du monde singulière.

La synesthésie est un phénomène neurologique qui implique des associations systématiques, automatiques et involontaires entre les sens et certains concepts comme la personnification ou la perception du temps et de l'espace. Fonctionnant souvent par paire, une modalité sensorielle en induit généralement une autre et mène les synesthètes à sentir des odeurs selon les sons qu'ils perçoivent, à entendre les couleurs, à ressentir une texture sur leur peau selon le goût d'un aliment ou à voir des éléments visuels selon une sensation physique ressentie par le toucher selon la forme de synesthésie possédée parmi les centaines d'associations que l'on connaît aujourd'hui.

VOXEL, "Dans les yeux de Daniela" est un parcours initiatique invitant à porter un nouveau regard sur l'image et à découvrir la perception unique de Daniela, une synesthète allemande de 36 ans qui possède plusieurs associations dont d'importantes connexions entre la vue, l'ouïe et les émotions.

*« Avant, je pensais être une sorte d'alien sur Terre parce que je ne perçois pas le monde comme les autres. Mais maintenant je sais de quoi il s'agit. [...] J'ai rencontré une seule personne qui a une synesthésie du même niveau que la mienne. Nous ne nous connaissions pas avant... Nous avons parlé et pleuré.
- Tu existes, c'est tellement bien.
J'ai eu la confirmation que c'était vraiment réel. »*

PRÉSENTATION

Le parcours initiatique est constitué de plusieurs parties, de plusieurs temps, de plusieurs modules. Le public peut déambuler et découvrir ce qu'est la synesthésie, un phénomène qui prouve la grande diversité humaine en matière de réception des images.

Une simulation présentée sous la forme d'un dispositif interactif lui permet de se mettre dans la peau - ou plutôt dans les yeux et les oreilles - d'une personne synesthète possédant des associations systématiques, automatiques et involontaires entre la vision et l'audition. C'est en portant son propre regard sur l'écran, et donc de façon active, que le public vit l'expérience singulière de percevoir l'image dans les yeux de quelqu'un d'autre.

Dans son parcours, le public est invité à découvrir le chemin parcouru au fil de la recherche en assistant à l'envers du décor. Grâce à la voix d'une personne synesthète qui fait l'objet d'un court film, mais aussi grâce aux textes et images, le public pourra évoluer dans une installation scénographique dédiée à montrer la recherche.

INSTALLATION

Intention de scénographie de l'installation et de ses différents modules.

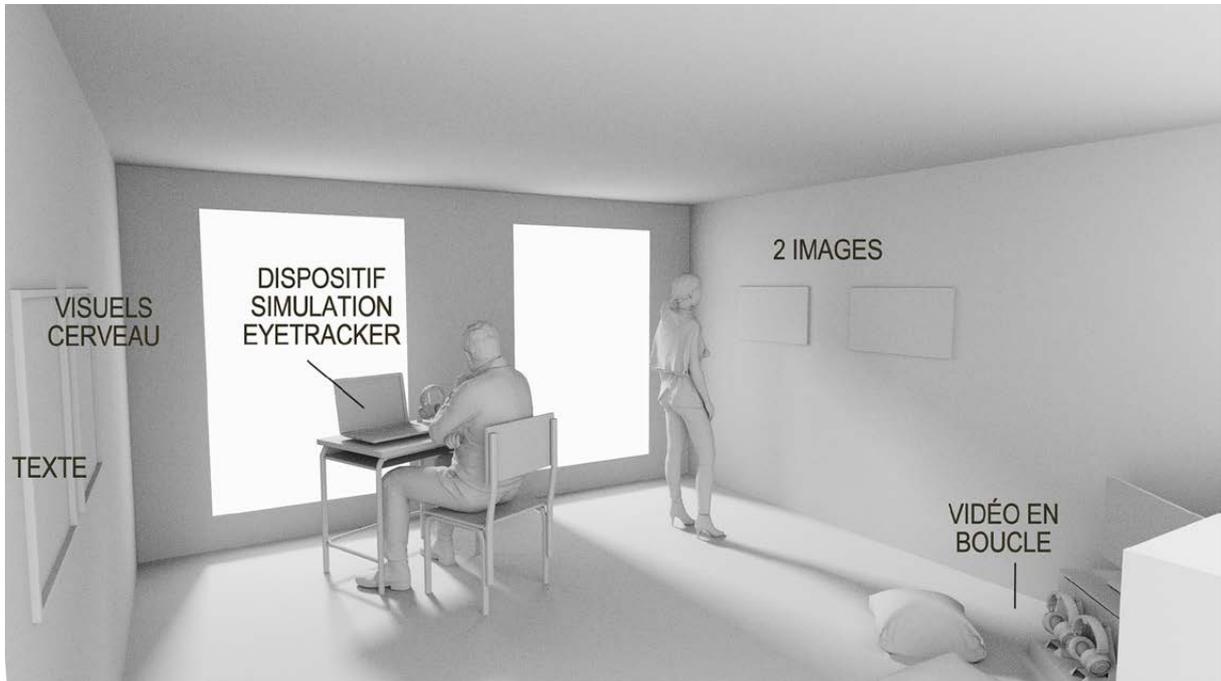


Figure 102. BOURDA Raphaël : *Projection 3D (vue 1) légendée de l'installation envisagée dans l'espace : Le Molière, Palier Étage 1, 40 rue de Richelieu, Paris, modélisation 3D, 2024.*

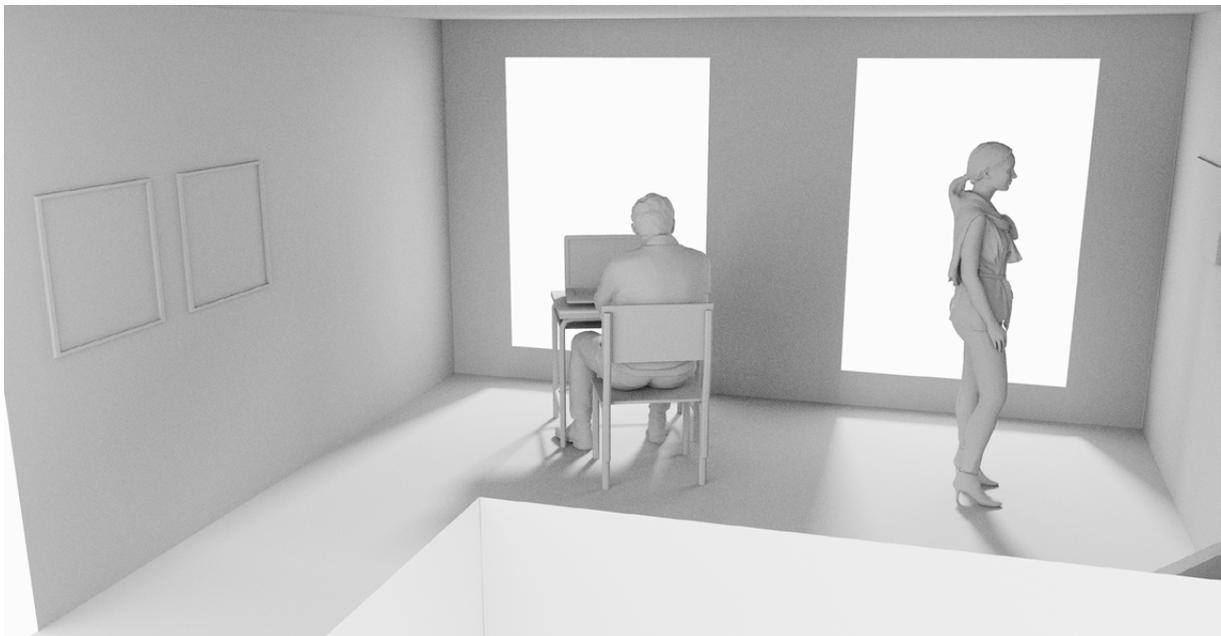


Figure 103. BOURDA Raphaël : *Projection 3D (vue 2) de l'installation envisagée dans l'espace : Le Molière, Palier Étage 1, 40 rue de Richelieu, Paris, modélisation 3D, 2024.*

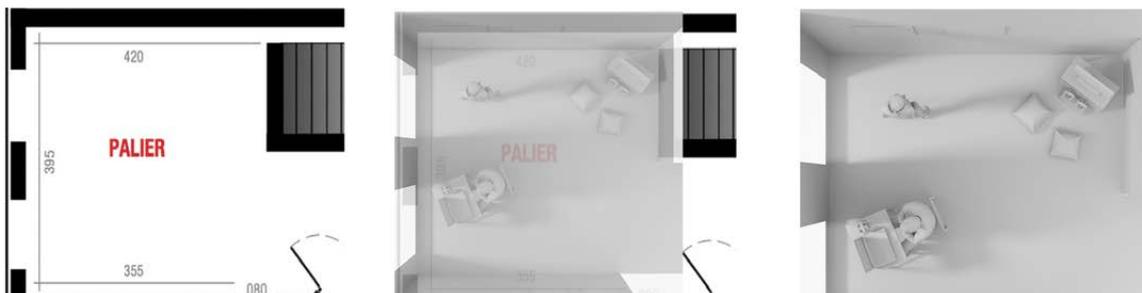


Figure 104. Bourda Raphaël : Projection 3D (plan et vue aérienne) de l'installation envisagée dans l'espace : Le Molière, Palier Étage 1, 40 rue de Richelieu, Paris, modélisation 3D, 2024.

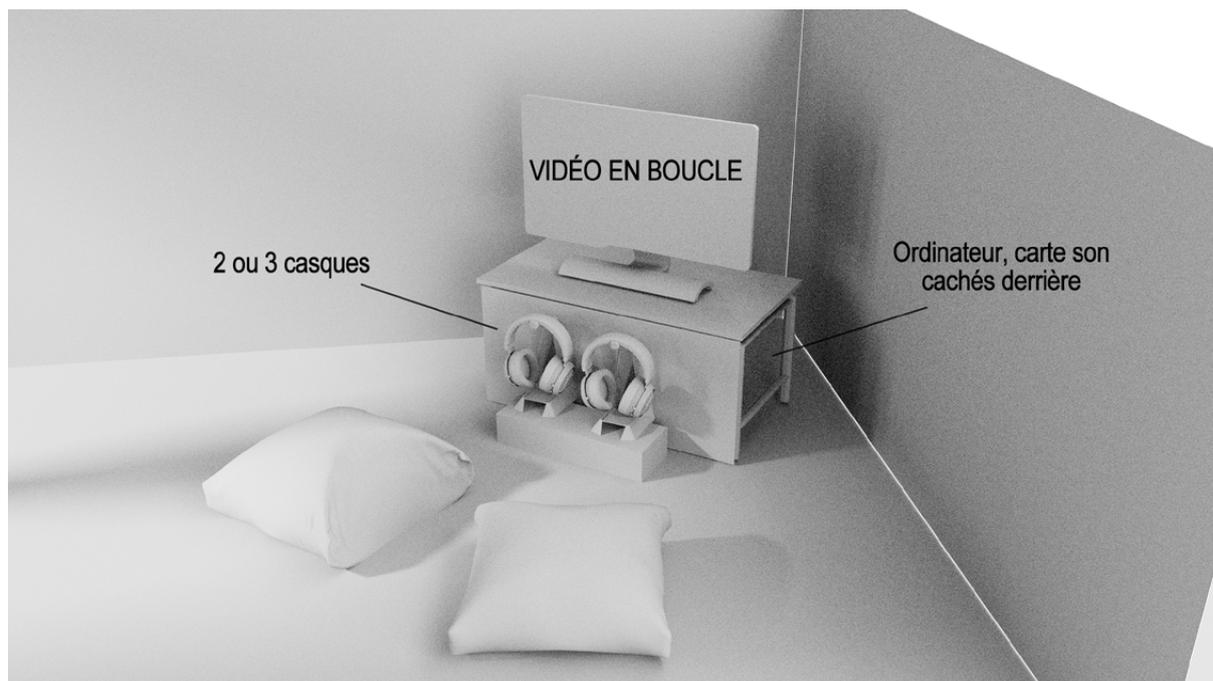


Figure 105. BOURDA Raphaël : Projection 3D (vue 3) légendée de l'installation envisagée dans l'espace : Le Molière, Palier Étage 1, 40 rue de Richelieu, Paris, modélisation 3D, 2024.

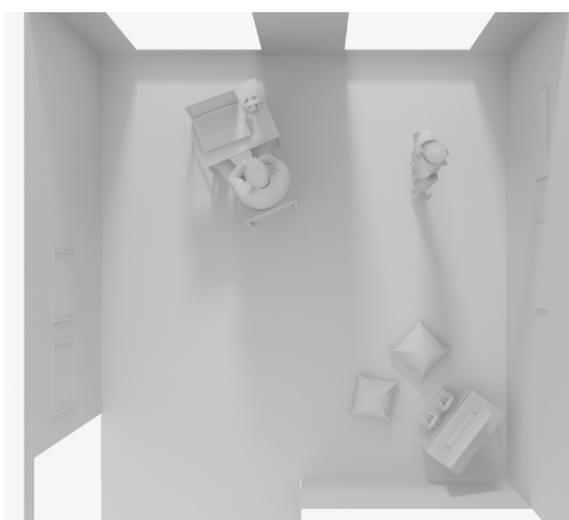


Figure 106. BOURDA Raphaël : Projection 3D (vue 4) légendée de l'installation envisagée dans l'espace : Le Molière, Palier Étage 1, 40 rue de Richelieu, Paris, modélisation 3D, 2024.

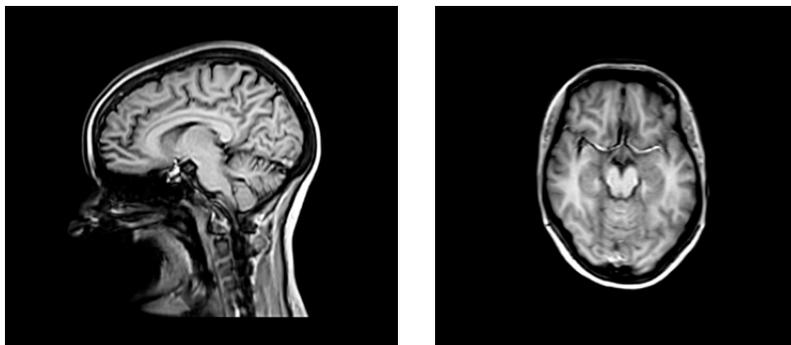
CONTENUS

Les parties constitutives du parcours initiatique que représente cette installation comprennent:

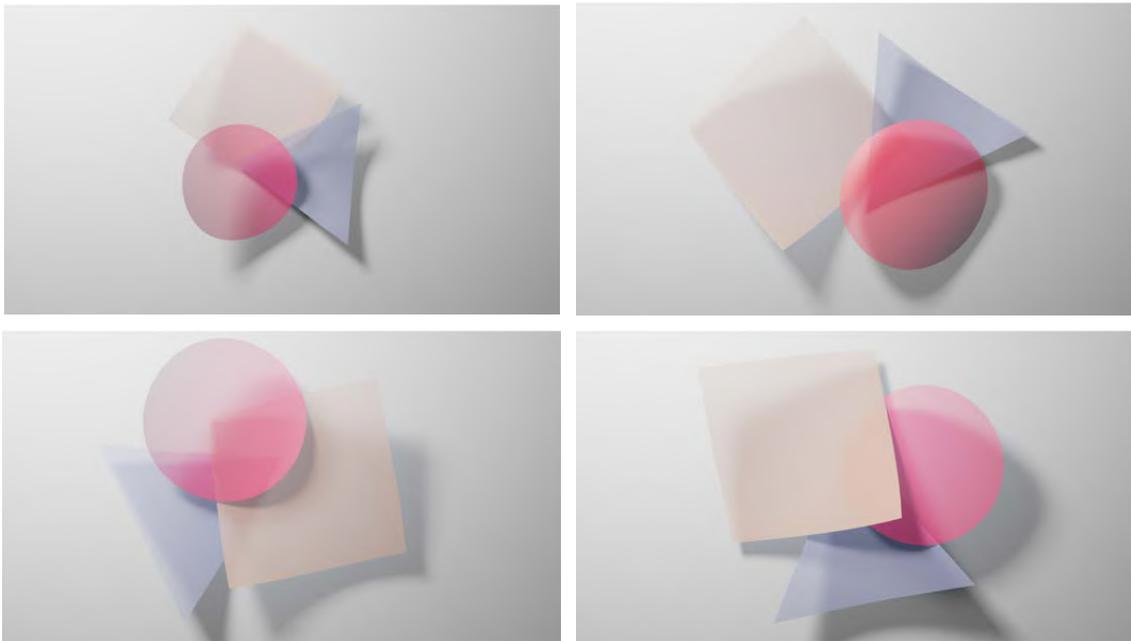
- du texte qui permet de comprendre le contexte et la nature du sujet,
- le dispositif de simulation oculométrique qui résulte de la recherche et les images associées
- le court film *Un regard sur le tien* qui permet de retracer certaines phases expérimentales en découvrant les témoignages de la personne dont la perception a été étudiée,
- des images d'un cerveau synesthète.

La simulation oculométrique permet de découvrir certaines associations entre la vision et l'audition que possède Daniela, qui a été le sujet d'étude synesthète majeur de ce mémoire. Ces correspondances, qui lui sont propres, permettent une fois caractérisées de construire des images en considérant leur dimension sonore et musicale.

Les images suivantes ne sont pas les images définitives. Il s'agit d'une sélection plus large, en cours d'édition et de traitement. Certaines seront déclinées en plusieurs couleurs en post-production.



Figures 107, 108. ToNIC, BOURDA Raphaël : *Acquisitions anatomiques du sujet synesthète.* À gauche, coupe sagittale. À droite, coupe coronale. Réalisées au ToNIC (INSERM), Pavillon Baudot, CHU de Purpan, Toulouse, Imageries par Résonance Magnétique (IRM), 7 mai 2024.



Figures 109, 110, 111, 112. BOURDA Raphaël : *Compositions d'accords de Do Majeur et de Si Diminué*, en cours d'édition, de développement et de retouche, modélisations 3D, 2024.

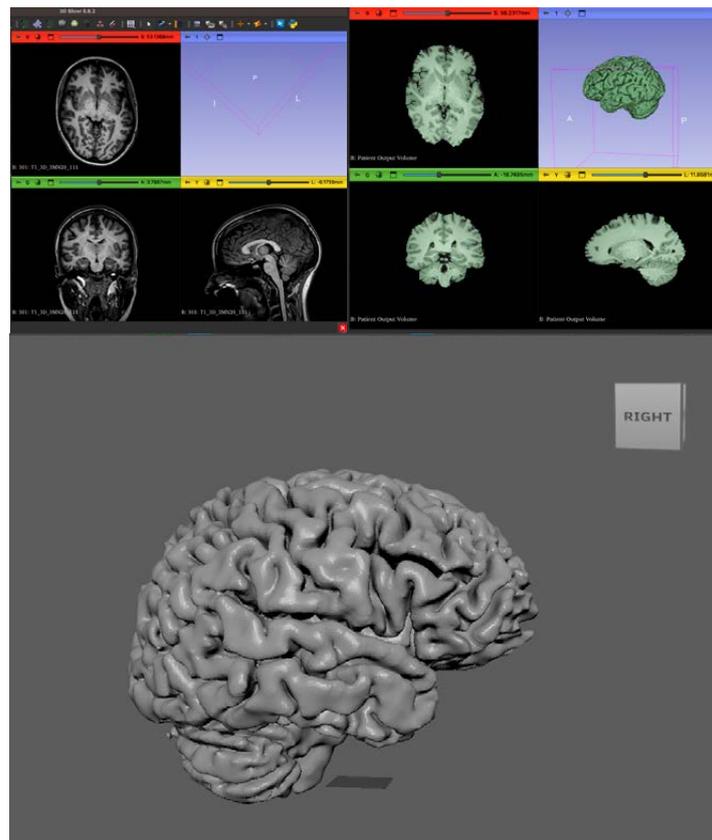


Figure 113. BOURDA Raphaël : *Aperçus de la production d'un modèle 3D du cerveau d'une personne synesthète à partir des acquisitions réalisées pour la recherche de ce mémoire afin d'en réaliser une impression 3D*, captures d'écran des logiciels 3D Slicer, Autodesk Meshmixer, Meshlab (CNR) et Autodesk Maya, 2024.