

MEMOIRE

En vue de l'obtention du
Certificat de Capacité d'Orthophonie
présenté par :

Camille ROCHAS et Anne-Claire SIMONNET

soutenu publiquement en juin 2016 :

Synesthésie et difficultés d'apprentissage du langage écrit chez l'enfant

MEMOIRE dirigé par :

Anahita BASIRAT, Maître de conférence, Université Droit et Santé Lille 2, Lille
Jean-Michel HUPE, Chercheur au CNRS, Toulouse

Lille – 2016

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Mme Anahita Basirat et M. Jean-Michel Hupé, nos directeurs de mémoire, pour nous avoir encadrées tout au long de notre travail. Nous les remercions également de nous avoir fourni le matériel nécessaire aux passations des tests, de nous avoir guidées dans leur utilisation ainsi que pour avoir procédé à l'analyse de nos résultats.

Nous remercions nos maîtres de stages respectives, qui nous ont soutenues cette année et aidées à constituer notre population. Merci également à toutes les orthophonistes qui nous ont permis de tester leurs patients, aux parents qui ont donné leur accord, et aux enfants ayant participé à l'étude.

Nous remercions nos familles et amis pour leur soutien, leurs relectures, et leur patience au cours de cette année. Merci à Pou, qui a suivi ce travail pas à pas et donné ses conseils avisés. Merci tout particulièrement à Lucie, Anne-Flore, Sabine, Lucile, Etienne et Jean-Baptiste pour leur présence tout au long de nos études et de la rédaction de ce mémoire.

Résumé :

La synesthésie graphème-couleur consiste en des associations involontaires, arbitraires, idiosyncrasiques et constantes de lettres et/ou de chiffres avec des couleurs. Il s'agit de la forme de synesthésie la plus répandue. De nombreuses méthodes d'apprentissage ou de rééducation du langage écrit mettent en jeu des associations graphème-couleur et celles-ci peuvent être incongruentes avec celles des enfants synesthètes. Nous étudions alors l'hypothèse d'un lien entre la synesthésie graphème-couleur et des difficultés d'apprentissage du langage écrit. Pour cela, nous cherchons à déterminer la prévalence d'enfants synesthètes parmi la clientèle des orthophonistes et la comparons avec la population générale. Nos résultats suggèrent une proportion de synesthètes similaire dans ces deux populations. De plus, les orthophonistes rencontrés lors des passations ne font part d'aucune difficulté relative aux associations de graphèmes et de couleurs. Les enfants synesthètes ne seraient donc pas gênés dans leurs apprentissages par leur synesthésie. Plusieurs facteurs et biais pourraient expliquer les résultats et observations mis à jour dans cette étude, et nous n'excluons pas la possibilité d'une gêne chez certains de ces enfants. Il est donc pertinent de sensibiliser les orthophonistes à ce phénomène afin de leur permettre d'adapter au mieux leur prise en charge.

Mots-clés :

Orthophonie – Langage écrit – Recherche – Synesthésie graphème-couleur

Abstract :

Graphem-color synaesthesia consists in unintentional, arbitrary, idiosyncratic and consistent associations between letters/numbers and colors. It is the most common form of synaesthesia. Many learning or reeducation methods of the written language involve graphem-color associations and they can be incongruent with the synaesthetic children's associations. We study in this paper the hypothesis of a link between graphem-color synaesthesia and written language disorders. In this purpose, we determine synaesthetic children's prevalence among the speech therapists' patients and compare it to the general population. Our results suggest a

similar proportion of synaesthetic children among those populations. Moreover, the speech therapists we met during the testing did not identify any difficulty relating to graphem-color associations. The synaesthetic children would not be bothered by their synaesthesia in the learning of written language. Several factors and biases could explain our results and observations, and we do not exclude the possibility of a discomfort for some of these children. It would be relevant to raise speech-therapists' awareness of this phenomenon so that they may adapt their rehabilitation.

Keywords :

Speech therapy – Written language – Research – Graphem color synaesthesia

Table des matières

Introduction	1
Contexte théorique, buts et hypothèses	4
1. Généralités sur les synesthésies.....	5
1.1. Présentation générale.....	5
1.1.1. Définition et nomenclature usuelle.....	5
1.1.2. Historique des synesthésies.....	6
1.1.3. Prévalence et données statistiques.....	7
1.2. Les différents types de synesthésies.....	8
1.2.1. La synesthésie graphème-couleur.....	8
1.2.2. L'audition colorée.....	10
1.2.3. Les séquences spatialisées.....	11
1.2.4. La personnification des graphèmes.....	11
2. Origines des synesthésies.....	12
2.1. Facteur génétique.....	12
2.2. Facteurs environnementaux au cours du développement de l'enfant.....	13
2.3. Facteurs anatomo-fonctionnels.....	14
2.3.1. Particularités structurelles des lobes frontal et pariétal.....	14
2.3.2. Théorie de l'activation croisée (cross activation theory).....	15
2.3.3. Hypothèse de l'hyperconnexion globale.....	15
2.3.4. Qualité émotionnelle particulière et structuration cérébrale.....	15
2.3.5. Différences fonctionnelles plutôt que structurelles.....	16
3. Développement des synesthésies.....	18
3.1. Développement des synesthésies chez l'enfant.....	18
3.2. Synesthésies chez l'adulte.....	20
3.2.1. Evolution des associations après l'enfance.....	20
3.2.2. Peut-on devenir synesthète ?.....	20
4. Méthodes d'apprentissage et de rééducation faisant intervenir des associations de graphèmes et de couleurs.....	23
4.1. Méthodes exclusivement destinées à la rééducation.....	23
4.1.1. Lecture en couleurs (ou Colorilire).....	23
4.1.2. L'Imprégnation Syllabique.....	24
4.2. Méthodes utilisées en rééducation et à l'école.....	24
4.2.1. La méthode Borel-Maisonny.....	24
4.2.2. La Planète des Alphas.....	25
4.2.3. Facilecture.....	26
4.2.4. Lire avec Léo et Léa.....	26
4.3. Méthode d'apprentissage des mathématiques : la méthode Cuisenaire.....	27
4.4. Lien entre les méthodes d'apprentissage de la lecture et les synesthésies.....	28
5. Avantages et coûts des synesthésies.....	30
5.1. Avantages.....	30
5.1.1. Mémoire.....	30
5.1.2. Représentations concrètes.....	31
5.2. Coûts.....	31
5.2.1. Attention, concentration et désorientation.....	31
5.2.2. Douleurs et sensations désagréables.....	32
5.2.3. Difficultés d'apprentissage et mémoire.....	32
6. Buts et hypothèses.....	33
Sujets, matériel et méthode	35
1. Sujets.....	36
2. Matériel et procédure.....	37

2.1. Logiciel de passation.....	37
2.2. Questionnaire.....	40
2.3. Analyse des résultats.....	41
Résultats.....	44
1. Résultats du test (quantitatifs).....	45
2. Résultats du questionnaire (qualitatifs).....	46
3. Présentation des sujets potentiellement synesthètes.....	47
3.1. Sujets écartés.....	47
3.2. Résultats ambigus à approfondir.....	49
3.2.1. Sujet 101 : Hubert.....	51
3.2.2. Sujet 104 : Iris.....	51
3.2.3. Sujet 105 : Adrien.....	51
3.2.4. Sujet 108 : Martin.....	52
3.2.5. Sujet 109 : Alexis.....	52
3.2.6. Sujet 128 : Emma.....	52
3.2.7. Sujet 136 : Thibault.....	53
3.2.8. Sujet 144 : Justine.....	53
3.2.9. Sujet 501 : Rémi.....	53
3.2.10. Sujet 514 : Madeleine.....	54
3.2.11. Sujet 528 : Bertille.....	54
3.2.12. Sujet 533 : Louis.....	55
3.2.13. Sujet 541 : Alexandra.....	55
3.2.14. Sujet 545 : Aurore.....	55
Discussion.....	57
1. Difficultés quant à la détermination d'une synesthésie chez l'enfant.....	58
1.1. Interprétation des réponses au test.....	58
1.2. Fiabilité des éléments qualitatifs.....	59
1.3. Difficultés d'interprétation liées à la nature des synesthésies de l'enfant... 60	
2. Synthèse des résultats.....	61
2.1. Synthèse des stratégies de réponse observées.....	61
2.2. Synthèse des profils et conclusion quant à la présence d'une synesthésie 62	
2.2.1. Sujets non synesthètes.....	62
2.2.2. Sujets pour lesquels on ne peut pas conclure.....	63
2.2.3. Sujets synesthètes graphème-couleur.....	64
2.2.4. Recherche de formes de synesthésies associées.....	64
3. Discussion des résultats et de la validation de l'hypothèse initiale.....	65
3.1. Prévalence des synesthètes dans la population ciblée.....	65
3.2. Invalidation de l'hypothèse de départ.....	68
4. Perspectives orthophoniques.....	69
Conclusion.....	71
Bibliographie.....	73
Liste des annexes.....	80
Annexe n°1 : Lettre d'information à destination des parents.....	81
Annexe n°2 : Lettre d'information à destination des orthophonistes.....	81
Annexe n°3 : Formulaire de consentement.....	81
Annexe n°4 : Questionnaire.....	81
Annexe n°5 : Comparaison des données qualitatives et quantitatives pour les sujets potentiellement synesthètes.....	81
Annexe n°6 : Caractéristiques des sujets potentiellement synesthètes.....	81
Annexe n°7 : Tableau comparatif des sujets synesthètes selon les critères de l'étude de Simner et al. (2009) et selon les critères de notre étude.....	81

Introduction

Les synesthésies sont un phénomène qui consiste en l'association involontaire et arbitraire de perceptions additionnelles dans une seule ou plusieurs modalités lors de la perception d'un stimulus. Ces associations sont idiosyncrasiques, c'est-à-dire qu'elles diffèrent pour chaque synesthète. Depuis les années 1980, elles sont redécouvertes par les scientifiques et deviennent un objet d'étude de plus en plus fréquent mais elles n'ont encore jamais été étudiées dans le cadre de l'orthophonie.

Dans cette étude, nous nous intéressons plus spécifiquement à la synesthésie graphème-couleur qui consiste en des associations de graphèmes, c'est à dire de lettres et/ou de chiffres, avec des couleurs. Elle serait présente chez 4,1 % de la population française (Chun et Hupé, 2013).

De nombreux témoignages font part de bénéfices et de coûts induits par les synesthésies. Concernant les difficultés que provoquent de telles associations, certains synesthètes évoquent, entre autres, une fatigabilité induisant des difficultés de concentration ou encore une gêne due à des incohérences entre leurs associations synesthésiques et la réalité.

Les enfants sont exposés, à l'école et en séance d'orthophonie, à de nombreuses méthodes d'apprentissage ou de rééducation du langage écrit et du calcul mettant en jeu des associations graphème-couleur.

Les difficultés induites par les synesthésies et l'existence de telles méthodes nous amènent à étudier l'hypothèse d'un lien entre la synesthésie graphème-couleur et des difficultés concernant les graphèmes, c'est à dire l'apprentissage du langage écrit.

Dans cette optique, nous recherchons la prévalence de synesthètes parmi la population des enfants du CP et CM2 suivis en orthophonie pour de telles difficultés, et la comparons avec les données de la littérature concernant la population générale. Il s'agit d'un travail de recherche comprenant une analyse statistique de données quantitatives ainsi qu'une confrontation avec une analyse qualitative des cas.

Pour ce faire, nous présentons en premier lieu le contexte théorique dans lequel se place notre recherche, établissant un état des lieux des connaissances scientifiques actuelles concernant les synesthésies. Nous présentons également de façon non exhaustive des méthodes d'apprentissage ou de rééducation du langage

écrit et du calcul. Ces constats nous permettent de poser notre hypothèse initiale et d'établir les buts de l'étude.

Nous décrivons par la suite les caractéristiques de notre échantillon, la méthodologie mise en place ainsi que le matériel utilisé pour tester les sujets, puis la procédure d'analyse des résultats.

Nous exposons ensuite les résultats quantitatifs et qualitatifs obtenus et présentons individuellement chaque sujet potentiellement synesthète, rassemblant pour chacun l'ensemble des données le concernant.

Ces synthèses de données permettent de discuter pour chacun la présence d'une synesthésie. Nous mettons en avant les différents profils rencontrés lors des passations et constatons les limites de la méthodologie en lien avec les caractéristiques intrinsèques aux enfants et à celles de leur synesthésie, différente de celle de l'adulte. Nous nous interrogeons quant à l'impact des résultats obtenus dans la pratique orthophonique et des éventuels ajustements à mettre en place.

Contexte théorique, buts et hypothèses

Cette partie de notre mémoire a pour but de présenter l'état actuel des recherches sur notre sujet et le cadre théorique dans lequel nous nous situons. Nous avons organisé les différents éléments afin qu'ils suivent le cours de nos réflexions.

Nous présentons tout d'abord les synesthésies dans leur généralité en les définissant, détaillant leur historique et certaines données statistiques puis en mettant en avant les formes de synesthésie les plus répandues. Nous évoquons également les différentes hypothèses concernant les origines des synesthésies, soit des facteurs génétiques, environnementaux ou anatomo-fonctionnels. Puis nous étudions l'évolution des synesthésies chez l'enfant et chez l'adulte.

Nous avons ensuite axé nos recherches sur les méthodes d'apprentissage de la lecture et du calcul mettant en jeu des couleurs, utilisées à l'école et/ou en rééducation orthophonique. Nous en présentons quelques-unes parmi les plus courantes.

Nos réflexions se sont ensuite portées sur les avantages qu'apportent les synesthésies et les coûts qu'elles induisent de façon générale, et notamment pendant l'apprentissage du langage écrit et du calcul.

Les éléments combinés de nos recherches et de nos réflexions nous ont finalement amenées à formuler une hypothèse qui servira de base à nos expérimentations et mènera à une discussion.

1. Généralités sur les synesthésies

1.1. Présentation générale

1.1.1. Définition et nomenclature usuelle

Dans le dictionnaire, la synesthésie est définie comme "une expérience subjective dans laquelle des perceptions relevant d'une modalité sensorielle sont régulièrement accompagnées de sensations relevant d'une autre modalité, en l'absence de stimulation de cette dernière (par exemple audition colorée)." (Larousse).

Les scientifiques la définissent comme un phénomène qui consiste en une association de perceptions dans différentes modalités sensorielles à partir d'un seul stimulus. C'est à dire que la perception de certains stimuli évoque automatiquement une expérience subjective additionnelle dans la même ou dans une autre modalité.

Par exemple, certains synesthètes voient les lettres et les chiffres colorés, ou leur associent des personnalités ; d'autres encore "voient" la musique, celle-ci prenant des formes et des couleurs qui tourbillonnent autour de la personne.

Les associations synesthésiques sont classiquement définies comme étant involontaires et automatiques, dans le sens où elles ne peuvent être inhibées par le synesthète et ont lieu à chaque fois qu'il est confronté au stimulus déclencheur. Elles sont également arbitraires et idiosyncrasiques : il n'y a aucune raison objective à ce qu'un son soit associé à une couleur en particulier, et cette couleur varie pour chaque synesthète.

Bien que cela soit de moins en moins fréquent et qu'il soit difficile de l'affirmer scientifiquement, certains synesthètes ignorent qu'ils le sont, pensent qu'il s'agit d'un phénomène commun, ou pensent être uniques. Ils n'imaginent pas que d'autres personnes ne voient pas le A en violet, ou que le poulet ne puisse pas être pointu pour tout le monde (association de goût et de forme). Pour autant, les synesthésies sont à différencier d'éventuelles hallucinations visuelles. Le synesthète est capable de distinguer ses perceptions réelles de ses associations synesthésiques.

D'après la nomenclature de Flournoy (1893), le stimulus est parfois appelé inducteur et la perception additionnelle est dite induite (elle est parfois appelée concurrent, ou photisme s'il s'agit d'un concurrent visuel).

On parle de couleurs congruentes lorsque les couleurs physiques correspondent aux associations synesthésiques, et de couleurs incongruentes lorsqu'elles sont différentes. Par exemple, lorsque la lettre A est associée au rouge par un synesthète mais qu'on la lui présente en vert, on dit que l'on a présenté le A dans une couleur incongruente.

1.1.2. Historique des synesthésies

Les synesthésies intéressent la communauté scientifique pour la première fois au XIX^{ème} siècle, lorsque George Sachs, un médecin bavarois, les décrit en 1812. Elles deviennent un sujet à la mode dans les années 1880.

Le terme de « synesthésie » vient des mots grecs *syn*, qui signifie union, et *aesthesis*, sensation, et qualifie "tout événement perceptif qui comporte un croisement synesthétique" (Rosenthal, 2011).

Après des décennies durant lesquelles elles sont tombées dans l'oubli, ce n'est que dans les années 1980 que les synesthésies sont redécouvertes. Depuis, elles intéressent bon nombre de chercheurs et apparaissent dans de nombreuses publications, anglophones notamment.

1.1.3. Prévalence et données statistiques

L'estimation de la proportion de synesthètes dans la population générale est rendue difficile par le fait qu'elle repose majoritairement sur des témoignages spontanés

Elle peut se faire en posant systématiquement la question à une population variée et importante. Certains chercheurs utilisent des questionnaires qualitatifs pour repérer plus facilement les sujets synesthètes. Simner et al. (2006) proposent deux questionnaires différents selon la population testée : un premier groupe de sujets décrit ses expériences en reliant des éléments d'une colonne « déclencheurs » (les inducteurs) aux éléments d'une colonne « expériences » (les concurrents) tandis qu'un second groupe répond à un questionnaire en six points sur une échelle de Likert à six choix. En 2009, ce questionnaire est adapté pour une étude portant sur la détection des marqueurs de synesthésies chez les enfants entre 6 et 8 ans. Celui-ci se compose de trois questions à six choix de réponse. Dans ces deux études, les réponses qualitatives sont associées aux réponses quantitatives recueillies à l'aide d'un test informatique pour déterminer quels sujets étaient synesthètes. Chun et Hupé (2013), utilisent un questionnaire en ligne pour un recrutement systématique de sujets. Ce questionnaire comporte des questions fermées avec la possibilité de décrire les expériences vécues dans un espace prévu à cet effet. Il a notamment permis de distinguer les sujets synesthètes des non-synesthètes.

Les enquêtes systématiques menées par Simner (2006) ont montré que des associations de lettres avec des couleurs seraient présentes chez 1 à 2 % de la population anglo-saxonne et 1,3 % des enfants de 6 à 9 ans. En 2013, Chun et Hupé montrent que ces associations sont présentes chez 4,1 % de la population française. D'autre part, Seron et al. (1992) et Sagiv et al. (2006), ont trouvé une proportion de 12 à 14 % de personnes présentant une synesthésie concernant les formes numériques.

De nombreux chercheurs se sont intéressés à la prévalence hommes-femmes. Malgré des résultats en faveur d'une répartition majoritairement féminine, Simner et al. (2006) ont été les premiers à trouver une répartition égale hommes-femmes.

Nous reviendrons sur ces distorsions lorsque nous étudierons le rôle des facteurs génétiques dans les synesthésies. Ils ont également mis en lumière une prévalence égale chez les enfants entre 6 et 9 ans et chez les adultes, au Royaume-Uni.

1.2. Les différents types de synesthésies

Les études réalisées sur les synesthésies ont montré une hétérogénéité très importante tant entre les différentes formes de synesthésies qu'entre les synesthètes présentant une même forme.

En effet, les associations semblent idiosyncrasiques. Ainsi, comme le montre Galton (1880), pour chaque synesthète un même inducteur est associé à un concurrent différent et ce, même si le type d'association est identique. Par exemple, pour quelqu'un associant des lettres et des couleurs, le A sera vert et le B bleu alors que pour un autre le A sera noir et le B orange, etc.

La forme des synesthésies concerne les types d'associations : on s'intéresse pour cela au type d'inducteur et de concurrent. En tout, 63 formes de synesthésies ont été recensées par Day (2011). Cette liste n'est pas exhaustive car il est fréquent que les croisements entre différentes formes soient multiples : un même stimulus peut déclencher plusieurs associations simultanées. Novich et al. (2011) proposent que les synesthésies soient classées en modules : séquences colorées, séquences spatialisées, sensations colorées ou encore musique colorée. Selon eux, les co-occurrences de synesthésie seraient plus probables intra-modules qu'inter-modules. Certaines formes sont plus étudiées dans la littérature scientifique, du fait entre autres de leur prévalence plus importante. Nous présentons ici les quatre synesthésies les plus représentées dans la population des synesthètes.

1.2.1. La synesthésie graphème-couleur

Selon une étude de Chun et Hupé (2013), les synesthètes graphème-couleur représentent environ 4,1 % de la population générale en France. Il s'agit de la synesthésie la plus représentée avec environ 64% des synesthètes. Elle consiste en des associations intermodales : les graphèmes (lettres et/ou chiffres) évoquent des couleurs de façon involontaire et constante. On trouve dans la littérature différentes classifications prenant en compte des critères variés.

Une première classification des synesthètes graphème-couleur ressort des études de Dixon et al. (2004, cités par Caspar et Kolinsky, 2013). Ils y sont séparés

en deux grands types, différenciés selon l'endroit où se fait la perception. Ils parlent de synesthètes projecteurs lorsque le concurrent se projette dans l'espace péri-personnel : c'est comme s'il flottait autour de la personne synesthète. Les synesthètes associateurs, eux, perçoivent le concurrent dans l'espace intrapersonnel : ils visualisent la lettre ou le chiffre coloré dans leur tête ; on parle alors d' "œil mental".

Cette classification présente cependant des limites (Edquist et al., 2006). En effet, certains synesthètes ne parviennent pas à déterminer s'ils perçoivent les concurrents dans l'espace péri ou intra-personnel. D'autres se contredisent quant au lieu d'apparition lorsqu'on les réinterroge un an plus tard, alors que l'association est restée la même. Pour d'autres encore, certains concurrents apparaissent même dans les deux espaces simultanément.

Une seconde classification évoquée par Ramachandran et Hubbard (2001) distingue les synesthètes dits de haut et de bas niveau, en fonction de la caractéristique de l'inducteur. Concernant les formes de synesthésies impliquant des chiffres, Ramachandran et Hubbard postulent que l'interconnexion ne se fait pas entre les mêmes zones du cerveau selon le gène modifié. Si ce gène s'exprime au niveau du gyrus angulaire¹ ils parlent alors de synesthésies de « haut niveau » avec des associations catégorielles. S'il s'exprime en revanche au niveau du gyrus fusiforme², ils parlent de synesthésies de « bas niveau » mettant en jeu des associations perceptives.

Une étude de Simner (2012) a montré qu'un symbole de même catégorie, malgré des formes visuelles distinctes, induit toujours la même couleur : par exemple, pour ces synesthètes, un "A", qu'il soit majuscule, minuscule, attaché, ou encore script, induira invariablement la couleur violette. Dixon et al. (2006), ont étudié les associations faites avec les symboles ambigus. Ils ont montré qu'un symbole avec une même forme physique (le chiffre "un" et la lettre "L" en minuscule par exemple), induisait un concurrent différent en fonction du contexte. Ainsi, si le chiffre "un" induit la couleur verte et la lettre "L" minuscule induit le bleu, le synesthète percevra un "1" vert dans un contexte chiffré et un "l" bleu si le symbole est présenté au milieu d'autres lettres, alors même qu'il s'agit de symboles tout à fait semblables hors contexte. On parle alors de synesthètes de haut niveau. Chez ce

1 Le gyrus angulaire est situé à l'intérieur de la partie inférieure du lobe pariétal.

2 Le gyrus fusiforme se situe au niveau de la face intérieure du lobe temporal.

type de synesthètes, c'est donc la catégorie du symbole qui induit le concurrent. Les caractéristiques physiques des symboles n'influent pas sur les associations.

Chez les synesthètes de bas niveau, en revanche, les concurrents dépendent des caractéristiques physiques du graphème. Ainsi, un même symbole sera perçu dans des couleurs différentes en fonction de la casse voire de la police d'écriture (Hubbard et Ramachandran, 2003, cités par Simner, 2012).

Hupé et al. (2012) ont tenté de quantifier l'intensité des associations à l'aide d'un test de Stroop adapté. Dans la version originale de ce test, le sujet doit nommer la couleur dans laquelle sont écrits des noms de couleurs. On évalue ainsi leur capacité d'inhibition de la lecture. Ici, on a présenté aux sujets des chiffres en couleur et il s'agissait pour eux de la nommer. Chez un synesthète, nommer la couleur réelle demande plus de temps lorsque celle-ci diffère de sa couleur synesthésique (incongruente) alors que chez un non-synesthète, la couleur des chiffres n'a aucun effet. Or, on suppose logiquement que plus l'association synesthésique est importante, plus son inhibition est difficile et donc plus le temps de réponse augmente chez le sujet synesthète. On peut alors classer les synesthètes selon l'intensité de leurs associations.

1.2.2. L'audition colorée

L'audition colorée est un type de synesthésie où le son, que ce soit le langage ou la musique, induit une perception colorée. Elle représenterait 4,5 % de la population (Chun et Hupé, 2013) et 15% des synesthésies (Caspar et Kolinsky, 2013).

On a constaté que la plupart de ces synesthètes présentent également une synesthésie graphème-couleur : Ward et al. (2006) ont trouvé la présence de ces deux synesthésies chez les 10 participants de leur étude. Selon une étude de Baron-Cohen (1996), ce sont les lettres constituant le mot entendu qui induisent le concurrent, et non le son produit. Ainsi, l'association colorée d'un mot entendu serait la conséquence de l'orthographe colorée des mots. Cela expliquerait le lien entre l'audition colorée pour le langage et la synesthésie graphème-couleur.

Concernant l'audition colorée de la musique, l'écoute d'une note activerait son nom chez les synesthètes ayant l'oreille absolue, ce qui ferait appel à la forme orthographique et donc à l'association avec la couleur.

1.2.3. Les séquences spatialisées

Les séquences spatialisées seraient présentes chez 9 % de la population française (Chun et Hupé, 2013). Galton (1880) est le premier à en parler. Simner et al. (2009) les définissent comme une disposition spatiale particulière des séquences ordinales. Il peut s'agir de chiffres, lettres, jours de la semaine, mois de l'année, etc.

Dans la population générale, on a tendance à se représenter les suites de nombres selon une ligne numérique mentale horizontale allant de gauche à droite. Chez les synesthètes, ces représentations sont différentes.

1.2.4. La personnification des graphèmes

Cette forme de synesthésie est une des plus communes : sa prévalence serait de 12 % en France (Chun et Hupé, 2013), contre 1,4 % dans la population anglo-saxonne (Simner et Holenstein, 2007, citées par Chun et Hupé, 2013).

Simner et Holenstein (2007) la définissent comme un phénomène involontaire et automatique d'attribution de qualités « vivantes » à des unités linguistiques séquencées. Ils prouvent par des expériences que la personnification des graphèmes (ou « unités linguistiques ») est bien une forme de synesthésie. Cette étude recense les inducteurs intervenant dans ce type de synesthésie, il s'agit des lettres, des nombres, des jours et des mois, d'où le terme « d'unités linguistiques séquencées ». Simner et Holenstein ont également classé les concurrents engendrés en huit catégories : « le genre (par ex. mâle), un trait de personnalité (par ex. généreux), l'apparence physique (par ex. gros), une activité (par ex. businessman), un attribut cognitif (par ex. intelligent), une relation familiale (par ex. la mère), une relation non-familiale (par ex. un voisin ou un ami), ou une émotion par rapport à une autre unité (par ex. X aime/ennuie/a pitié de Y) » (Simner et Holenstein, 2013, p.3).

Dans le cadre de notre mémoire, la personnification des graphèmes sera à mettre en relation particulière avec la méthode d'apprentissage de la lecture « Les Alphas », que nous évoquerons par la suite et dont le principe est de représenter chaque graphème par un personnage.

2. Origines des synesthésies

Il est important de distinguer deux types de synesthésies : temporaires et développementales.

Des cas d'associations synesthésiques temporaires ont été observés, notamment lors de lésions cérébrales (Ro et al. 2007) ou de migraines (Armel et Ramachandran, 1999). Ce type d'associations a également été évoqué chez certaines personnes souffrant de la maladie de Parkinson, ou encore au cours de prise de médicaments (LSD, mescaline). Certains textes parlent de synesthésies «récréatives» induites par des drogues psychoactives (Rosenthal, 2011). Dans ce dernier cas, les associations synesthésiques disparaissent dès que l'effet du produit sur l'organisme prend fin.

Les synesthésies développementales, quant à elles, sont observables chez des personnes en bonne santé et sans addiction. Ces personnes parlent d'associations installées depuis toujours, d'aussi loin que remontent leurs souvenirs. Certains chercheurs proposent que ces associations seraient le souvenir d'associations faites pendant l'enfance, ou même des souvenirs chargés émotionnellement. D'autres évoquent des connexions supplémentaires qui existeraient chez les synesthètes et activeraient une autre perception lors de la présentation d'un stimulus. La synesthésie pourrait être un potentiel que l'on possède tous à la naissance mais qui se fixe chez certaines personnes et pas chez d'autres.

Nous présentons ici les différents facteurs, origines et causes possibles des synesthésies.

2.1. Facteur génétique

Le premier chercheur à se poser la question du rapport de prévalence hommes-femmes est Cornaz (1851). Il en conclut qu'il y a plus de femmes qui présentent une synesthésie que d'hommes. Ces chiffres sont validés par Baron-Cohen et al. (1996) et Rich et al. (2005) qui précisent : 6 femmes pour 1 homme. Certains scientifiques pensent alors naturellement à un lien entre les synesthésies et le chromosome X, hypothèse que des cas de transmission père-fils réfutent. On propose alors que la prévalence entre les hommes et les femmes seraient équitablement répartie. Les résultats précédemment cités seraient le fruit d'un biais. Les travaux se basent

principalement sur des témoignages et les femmes seraient plus enclines à exposer leurs expériences inhabituelles telles que la synesthésie.

Depuis les observations de Galton (1883), on a remarqué une proportion plus importante de synesthètes dans certaines familles. Les résultats de Baron-Cohen et al. (1996) et de Barnett et al. (2008) précisent ces premières observations en mettant en lumière qu'environ un tiers des synesthètes a un autre synesthète dans sa famille.

Certains chercheurs ont alors tenté d'isoler un "gène de la synesthésie". Il semblerait dorénavant qu'il s'agisse plutôt d'une transmission polygénique. Les gènes responsables restent à être identifiés précisément. Pour l'instant, Tomson et al. (2011) ont identifié la région 23 du chromosome 16 et Asher et al. (2009) le chromosome 2 q24 comme étant impliqués dans la transmission des synesthésies.

Une autre question se pose : sont-ce réellement les synesthésies qui sont transmises par ces gènes ? Si tel était le cas, les membres d'une même famille devraient présenter une seule et même forme de synesthésie, voire des associations identiques. Or Barnett et al. (2008) ont montré que, au contraire, les membres d'une même famille peuvent présenter différentes formes de synesthésies. La transmission concernerait alors plutôt une tendance à exprimer une synesthésie et non les associations elles-mêmes.

2.2. Facteurs environnementaux au cours du développement de l'enfant

A ce jour, plusieurs hypothèses ont été proposées concernant différents facteurs environnementaux qui pourraient entrer en compte dans les synesthésies.

Concernant la synesthésie graphème-couleur notamment, dont on a remarqué qu'elle apparaît préférentiellement pendant la période d'apprentissage de la lecture, certains chercheurs supposent qu'elle pourrait dépendre de l'âge d'acquisition de la lecture ou encore des caractéristiques de la langue maternelle. Ces hypothèses n'ont encore jamais été testées. D'autres scientifiques ont proposé que les associations colorées pourraient être le souvenir d'un alphabet coloré utilisé dans l'enfance. Le médecin français Chabalière (1864) suggère l'implication des méthodes d'apprentissage de la lecture. Witthoft et Winawer (2006, 2013) ont effectué des recherches concernant le rôle d'alphabets colorés dans la synesthésie graphème-

couleur. Ils ont répertorié plusieurs cas de synesthètes graphème-couleur présentant des associations apprises d'un jouet pendant leur enfance.

Selon d'autres études, l'initiale du nom d'une couleur semble influencer le "choix" de la couleur associée. D'après une étude de Rich et al. (2005), on obtient alors la couleur synesthésique rouge pour le r (R de "red"), le jaune pour le y (Y de "yellow"), et ainsi de suite. Il y a cependant de nombreuses exceptions. De plus, dans d'autres études, comme celle de Marks (1975), des concurrents différents sont trouvés pour un même inducteur, contredisant cet effet.

Des associations de couleurs analogues entre synesthètes et non-synesthètes ont été remarquées. Par exemple, la lettre A est plus souvent associée à la couleur rouge qu'aux autres couleurs. Spector et Maurer (2008;2011) ont montré que certaines associations lettres-couleurs sont provoquées par la forme de la lettre. Ces associations analogues entre synesthètes et non-synesthètes proviendraient d'une organisation corticale intrinsèque commune.

2.3. Facteurs anatomo-fonctionnels

D'autres théories proposent, outre les facteurs environnementaux et développementaux, que le cerveau des synesthètes aurait des particularités anatomiques et/ou fonctionnelles. Nous présentons d'abord un certain nombre d'hypothèses concernant des spécificités anatomiques puis nous nous intéressons aux hypothèses se basant sur des observations fonctionnelles.

2.3.1. Particularités structurelles des lobes frontal et pariétal

Des recherches ont été menées pour observer d'éventuelles différences anatomiques. Certains chercheurs ont observé des différences au niveau du lobe frontal et du lobe pariétal dans des cas de synesthésies impliquant la couleur (Beeli et al., 2008 ; Jäncke et Langer, 2011 ; Neufeld et al., 2012 ; Nunn et al., 2002 ; Paulesu et al., 1995 ; Rouw et Scholte, 2007, cités par Caspar et Kolinsky, 2013 ; O'Hanlon, 2013 ; Whitaker, 2014, cités par Hupé et Dojat, 2015). De fait, le lobe frontal permettrait un contrôle cognitif important nécessaire pour gérer le conflit entre les sensations externes (le stimulus) et internes (le concurrent) tandis que le lobe pariétal aurait un rôle dans l'intégration en objets cohérents des propriétés perceptives de base. Cependant, les résultats de ces études sont inconstants et soumis à des biais (trop peu de sujets, modèles statistiques différents, imageries plus

ou moins précises), ce qui suggère la présence de faux positifs. A ce jour, il n'existe donc aucune preuve formelle d'une différence structurelle au niveau frontal et pariétal entre les synesthètes et les non-synesthètes.

2.3.2. Théorie de l'activation croisée (cross activation theory)

Selon cette théorie, une activation croisée des aires cérébrales sous-tendant la perception des inducteurs et des concurrents est à l'origine des expériences synesthésiques. Il s'agit des régions adjacentes du gyrus fusiforme qui gèrent la reconnaissance visuelle des graphèmes (Cohen et Dehaene, 2004 ; Rickard et al., 2000) et le traitement des couleurs (Zeki et al., 1991). En effet, d'après les études de Kennedy et al. (1997), un élagage des connexions neuronales a lieu lors du développement du cerveau ; chez les synesthètes, un élagage périnatal incomplet aurait conservé des connexions surnuméraires entre des régions physiquement proches. Hubbard (2007) refond la théorie de l'activation croisée en proposant une nouvelle hypothèse selon laquelle une activation croisée entre les aires adjacentes aurait lieu, puis une intégration des percepts se ferait au niveau pariétal.

2.3.3. Hypothèse de l'hyperconnexion globale

L'hypothèse de l'hyperconnexion globale proposée par Huppé et al. (2012) suppose que les couleurs synesthésiques seraient codées de manière distribuée, et non localisée, au sein du cortex visuel.³ L'expérience synesthésique reposerait alors sur l'interconnexion entre les régions cérébrales sans qu'une région spécifique soit plus fortement activée, ce qui serait difficilement décelable par l'imagerie. Cette hypothèse n'a pas encore pu être démontrée du fait de l'absence de données fiables.

2.3.4. Qualité émotionnelle particulière et structuration cérébrale

Rouw et al. (2011) ont cherché à expliquer l'implication de l'insula⁴ dans les synesthésies. Malgré des données très parcellaires le concernant, il semblerait que le cortex insulaire pourrait être lié à la conversion d'un stimulus externe (l'inducteur) en un stimulus interne différent. Il pourrait également être impliqué dans le ressenti émotionnel particulier qui semble accompagner les expériences synesthésiques : dans la synesthésie graphème-couleur, un mot présenté dans une couleur incongruente peut provoquer une émotion (de la gêne, de l'agacement...) ou les couleurs synesthésiques peuvent n'être perçues que lors de stimuli émotionnels.

3 Le cortex visuel se situe dans le lobe occipital.

4 L'insula est situé au fond du sillon latéral (Scissure de Sylvius).

Hupé et al. (2012) et Jäncke et Langer (2011) ont observé une possible implication du cortex rétrosplénial⁵ (CRS) dans les synesthésies. Le CRS serait en effet activé lors de souvenirs autobiographiques. Cette mémoire permet de stocker et de récupérer des expériences subjectives, ainsi que des détails comme les perceptions, pensées, sentiments, ressentis lors de cette expérience et situés dans leur contexte spatio-temporel. Ils ont trouvé respectivement une plus grande quantité de matière blanche chez les synesthètes et une connectivité plus importante au niveau de l'hippocampe et du CRS. Il se pourrait alors que les associations synesthésiques soient des associations mémorisées chargées émotionnellement.

2.3.5. Différences fonctionnelles plutôt que structurelles

Caspar et Kolinsky (2013) présentent une autre théorie : tout le monde posséderait des connexions entre les différentes aires à la naissance mais elles seraient ensuite inhibées chez les non-synesthètes. Plusieurs arguments en faveur de cette hypothèse ont été avancés : on note en effet chez le nouveau-né beaucoup plus de facilités à “mélanger” les sens entre eux, un signal visuel pouvant donner une réponse auditive, par exemple. De plus, Grossenbacher (1997, cité par Caspar et Kolinsky, 2013) décrit des expériences synesthésiques déclenchées par la prise de certaines drogues et Cohen Kadosh et al. (2009) observent un effet Stroop lors de l'apprentissage de correspondances graphèmes-couleurs sous hypnose. Ces résultats pourraient correspondre à une réactivation de ces connexions inhibées en temps normal. Ces arguments sont cependant à considérer avec précaution car les expériences induites par des drogues sont très différentes des synesthésies développementales en ce que les associations ne sont ni constantes, ni automatiques. De plus, il n'existe aucune preuve que l'expérience post-hypnotique soit semblable à une expérience synesthésique et un effet Stroop peut être obtenu par entraînement simple, sans hypnose.

Weiss et al. (2005) sont les premiers à suggérer l'implication du cortex pariétal. Même si celui-ci n'est pas concerné par les expériences colorées, il jouerait un rôle de lien dans les associations synesthésiques. Les résultats obtenus confirment la présence de différences anatomiques et sont appuyés par des études plus récentes (Esterman, 2006 ; Muggleton, 2007 ; Rouw et Scholte, 2010 et Neufeld, 2012a cités

5 Le cortex rétrosplénial (CRS) et le cortex cingulaire postérieur (CCP) forment le gyrus cingulaire postérieur et sont impliqués dans la remémoration et l'orientation topographique. Le CRS entoure la partie postérieure du corps calleux (splénium).

par Hupé et Dojat, 2015) au cours desquelles une activation significative du cortex pariétal gauche a été mesurée. Cependant, ces résultats sont à modérer : les coordonnées des régions activées sont différentes d'une étude à l'autre et les stimuli manquent globalement de spécificité. En conclusion, les aires frontale et pariétale sont impliquées dans de nombreuses tâches attentionnelles mais la spécificité de leur activation dans les synesthésies est difficile à démêler des effets de l'attention.

Il est difficile de départager les hypothèses structurelles et fonctionnelles, sans compter qu'elles peuvent être compatibles : des différences structurelles peuvent induire des différences fonctionnelles, et un fonctionnement différent peut, à terme, contribuer à une modification des structures.

3. Développement des synesthésies

3.1. Développement des synesthésies chez l'enfant

Des études de Simner et al. (2009) et Simner et Bain (2013) ont permis de comparer le développement des associations sur plus de quatre ans chez des sujets synesthètes et non-synesthètes.

Pour ces deux études, les méthodes d'investigation sont sensiblement les mêmes. Les participants sont soumis à deux sessions d'un même test. Chaque session est divisée en deux parties. Dans la première partie du test, les enfants associent individuellement les 26 lettres et 9 chiffres présentés dans un ordre aléatoire avec une palette de couleurs, dont l'ordre change de manière aléatoire à chaque nouveau graphème. Avant de commencer, on leur présente le test comme un « jeu » sur l'ordinateur ou la tablette, puis on leur demande de sélectionner la couleur qu'ils considèrent comme allant « le mieux » avec chacun des graphèmes (il leur est précisé qu'ils doivent cependant éviter de choisir la même couleur de façon répétée). A la fin de la première partie, et après une pause de 10 secondes, on leur propose un second test surprise, dans les mêmes modalités, avec une réorganisation aléatoire des graphèmes et des couleurs. A l'issue de cette première session, on a pu calculer un score de « constance immédiate dans la session 1 » des associations entre le test et le retest. Seuls les enfants ayant montré un score significativement plus élevé que la moyenne (appelés « potentiels synesthètes ») ainsi que certains enfants contrôles (ayant eu un score dans la moyenne de leur âge) ont été retestés dans la session 2, un an plus tard. Cette deuxième session s'est déroulée exactement comme la première. Elle a donné lieu à deux autres scores : celui de « constance immédiate dans la session 2 », qui fait une comparaison des associations intra-session 2, et le score de « constance à distance », qui fait une comparaison des associations inter-sessions. Parmi les enfants « synesthètes potentiels », ceux ayant conservé une performance significativement supérieure à celle des enfants contrôles ont été identifiés comme synesthètes. Les autres, dont les scores étaient revenus à la moyenne avec la session 2, ont été classés comme « non-synesthètes avec une très bonne mémoire ». A la fin de la deuxième session, les enfants de ces deux catégories ont dû répondre à trois questions concernant les caractères automatique, certain et constant de leurs expériences synesthésiques.

A partir des résultats obtenus aux trois analyses comparatives, les chercheurs ont pu calculer un taux d'associations stables et constantes pour chacun des participants à l'étude. S'appuyant sur ces chiffres et les réponses au questionnaire, ils ont alors identifié parmi la population quels enfants étaient réellement synesthètes. En est donc ressortie une prévalence de synesthètes parmi la population testée.

En utilisant cette méthode, Simner et Bain ont pu également montrer la progression des associations synesthésiques durant l'enfance (de 6 ans à 11 ans). La synesthésie graphème-couleur est présente chez les enfants et se manifeste par des marqueurs précoces dès l'âge de 6 ans. Les associations semblent mûrir au fil du temps : elles passent d'associations relativement chaotiques, plutôt variables, à un système d'associations fixées. Cette progression suit une trajectoire plutôt lente : chez les 6-7 ans, 34% des associations sont fixées ; chez les 7-8 ans, 48% ; et chez les 10-11 ans, ce sont 71% des associations qui sont stables. De nombreux cas où la synesthésie ne se développe pas de la même façon ont cependant été observés : parfois les associations ont disparu au fil du temps, parfois elles se sont développées beaucoup plus lentement que dans les autres cas.

Baron-Cohen (1996) parle de l'hypothèse des synesthésies néonatales. Cette théorie se base sur celle du transfert en modalité croisée. Elle explique que les bébés peuvent reconnaître un objet selon plusieurs modalités grâce à leur capacité à se représenter les objets sous une forme abstraite : ils peuvent reconnaître par exemple un objet visuellement alors qu'ils ne l'ont connu qu'en modalité tactile auparavant. L'hypothèse des synesthésies néonatales ajoute qu'il y aurait un transfert de modalité qui serait le résultat d'une confusion sensorielle. Cette particularité serait active seulement pendant les premiers mois de la vie. Les adultes synesthètes seraient le résultat d'une erreur dans la différenciation des modalités pendant l'enfance.

Bor et al. (2014) résumant ainsi cette hypothèse néonatale : tous les enfants naissent synesthètes, mais la plupart perdraient cette faculté après l'élagage des connexions neurologiques qui survient dans les premières années. Les synesthésies seraient donc plutôt le résultat d'un élagage de moindre importance chez certains enfants. Ces auteurs soulignent le fait qu'une condition génétique est bien présente chez les synesthètes, comme en témoignent les formes familiales observées, mais

que ces facteurs génétiques ne sont pas systématiques ni essentiels au développement de la synesthésie. Bor et al. concluent qu'il existe un rôle extrêmement important de l'apprentissage et de l'environnement dans le développement des synesthésies. Par exemple, l'apparition de la synesthésie graphème-couleur se ferait dans les premières années de scolarisation, lorsque l'enfant commence à manipuler les graphèmes, et se stabiliserait dans les années suivantes (assertions basées sur les recherches de Simner et Bain ci-dessus).

3.2. Synesthésies chez l'adulte

3.2.1. Evolution des associations après l'enfance

Les synesthésies chez l'adulte sont caractérisées par un pattern fixe d'associations pour chaque synesthète. D'après Simner et al. (2009), il pourrait exister une période sensible durant l'enfance au cours de laquelle les associations se forment. Cependant, certains synesthètes pourraient acquérir de nouvelles synesthésies tout au long de leur vie. D'autre part, certaines associations synesthésiques acquises durant l'enfance peuvent se transférer à de nouveaux apprentissages plus tardifs (à un nouvel alphabet par exemple, lors de l'apprentissage d'une nouvelle langue).

3.2.2. Peut-on devenir synesthète ?

Des chercheurs ont testé la possibilité de devenir synesthète par le biais d'un apprentissage. D'après Rothen et Meier (2014), afin de conclure à la possibilité ou non d'induire une synesthésie par des entraînements, il faut pouvoir montrer que le stimulus choisi induit le concurrent de façon constante, automatique et involontaire, et ce sur une période de temps importante.

Certaines études ont ainsi montré que des associations synesthésiques peuvent être acquises grâce à un entraînement. Les participants à l'étude de Howell (1994, cité par Rothen et Meier, 2014) ont exprimé la sensation d'une expérience automatique et constante, avec une réelle perception colorée. Colizoli et al. (2012) ont observé l'apparition d'un effet Stroop plus ou moins fort. Celui-ci correspond au temps nécessaire pour inhiber l'association automatisée et est semblable aux résultats observés dans les synesthésies développementales. De plus, cet effet était corrélé à l'importance accordée par les participants à l'affirmation « je ressens des couleurs quand je pense à certaines lettres ». D'après Bor et al. (2014), un entraînement intensif permettrait de développer des expériences synesthésiques

phénoménologiquement très proches des expériences vécues par de véritables synesthètes.

Cependant, ces résultats sont à considérer avec prudence. En effet, le test de Stroop indique uniquement le caractère automatique d'une association mais ne permet pas d'en qualifier la nature perceptive ; pour ne pas orienter la réponse des sujets, il aurait fallu inclure d'autres items leur permettant d'exprimer qu'ils ne « ressentent pas de couleurs » mais qu'ils « associent automatiquement des couleurs à certaines lettres ». De plus, Nunn et al. (2002) proposent que, malgré un entraînement intensif, les sujets ne montreraient pas une activité cérébrale similaire à celle des synesthètes. Cohen Kadosh et al. (2005) montrent que les couleurs apprises n'interfèrent pas de la même manière que les couleurs synesthésiques dans certaines tâches attentionnelles. Ils ont effectué une expérience consistant à évaluer l'influence de la couleur sur la capacité à déterminer, entre deux chiffres, lequel est le plus grand. On constate que les synesthètes répondent plus rapidement lorsque les couleurs dans lesquelles les deux chiffres sont présentées évoquent des chiffres éloignés (exemple : pour 4 et 5 présentés dans des couleurs évoquant 2 et 7, les synesthètes répondaient plus rapidement que 5 est plus grand, que lorsque 4 et 5 étaient présentés dans des couleurs congruentes). Chez les non-synesthètes, à l'inverse, les couleurs ne correspondant pas à leurs apprentissages interféraient avec la tâche qu'ils devaient effectuer.

Ainsi, il n'existe à ce jour pas de preuve que les synesthésies puissent être acquises par un apprentissage : les recherches ont même montré que certains aspects des synesthésies ne peuvent pas être appris (le ressenti des couleurs par exemple).

D'autres études font part d'acquisition d'une synesthésie consécutive à une lésion cérébrale ou une dégénérescence neuronale. Dans ces cas, une réorganisation neuronale a lieu : la plasticité cérébrale entre en jeu et une aire spécifique à un sens peut se substituer à une autre aire sensorielle à travers l'apparition de nouvelles voies entre les régions cérébrales. On observe notamment une telle activation chez des aveugles : leur cortex visuel est activé lors de la lecture du braille, par exemple, ou lorsque la dégénération cause une privation sensorielle, des sons peuvent évoquer des flashes de lumière. Selon "the unmasking hypothesis",

la lésion n'induit pas la création de nouvelles voies mais le renforcement de connexions préexistantes.

On a aussi remarqué l'apparition de synesthésies dites ecmnésiques suite à des traumatismes importants. Il s'agit de l'association entre un souvenir rappelant une perception sensorielle vécue lors du traumatisme et une perception sensorielle réelle. Ces synesthésies post-traumatiques sont liées aux structures cérébrales mises en jeu lors de l'événement traumatisant : le système limbique intervient à la fois dans la gestion des émotions et dans le processus d'enregistrement des souvenirs. Ces synesthésies sont donc comme le surgissement des impressions sensorielles qui ont accompagné le trauma, dès que le sujet est exposé à un stimulus lui rappelant cet événement.

Les synesthésies non-idiopathiques peuvent être par exemple induites par des crises d'épilepsie : l'expérience synesthésique est vécue pendant les décharges électriques, notamment dans l'hippocampe (perception d'un goût salé), ou encore dans le lobe temporal.

Ainsi, on considère actuellement qu'il est impossible d'apprendre à être synesthète. On peut cependant en développer certains aspects sans pour autant que l'expérience vécue soit réellement comparable aux synesthésies développementales.

4. Méthodes d'apprentissage et de rééducation faisant intervenir des associations de graphèmes et de couleurs

De nombreuses méthodes d'apprentissage et/ou de rééducation orthophonique du langage écrit se basent sur une coloration ou une personnification des lettres et des sons. Cela permettrait de favoriser leur mémorisation et leur lecture par l'enfant. La plupart de ces méthodes sont destinées aux enfants de CP bien que certaines, comme la Planète des Alphas et la méthode Borel-Maisonny, puissent être proposées dès la grande section de maternelle. On note que ces méthodes peuvent également être utilisées plus tard dans le cadre de la rééducation. Il n'y a pas de méthode préconisée par les orthophonistes : ils utilisent celle de leur choix, adaptée à chaque patient. Nous présentons ici quelques méthodes faisant usage de coloration parmi les plus utilisées. Nous présentons également la méthode Cuisenaire, faisant intervenir les couleurs dans l'apprentissage des mathématiques. Elle est utilisée par certains orthophonistes, bien que nombre d'entre eux mettent en place leurs propres codes avec leurs patients.

4.1. Méthodes exclusivement destinées à la rééducation

4.1.1. Lecture en couleurs (ou Colorilire)

Cette méthode est destinée exclusivement aux orthophonistes pour la remédiation aux difficultés de l'apprentissage du langage écrit, et notamment aux enfants ayant des difficultés d'accès à la combinatoire. Elle a été créée et publiée en 2008 par Brigitte de Becque et Isabelle Breton, respectivement professeur des écoles et orthophoniste, et met en jeu des associations couleurs-phonèmes. En effet, les auteurs postulent que l'usage de telles associations permet d'acquérir la fonction de combinatoire de façon moins complexe qu'avec des associations graphèmes-phonèmes.

Dans un premier temps, la méthode s'intéresse exclusivement à la voie d'assemblage, avec un travail ciblé de la combinatoire des sons. Les couleurs interviennent dès cette première étape : chacune est associée à une voyelle et les syllabes prennent la couleur de la voyelle qu'elles contiennent. L'enfant ayant déjà acquis la correspondance entre la voyelle et la couleur peut ainsi se concentrer sur la consonne.

Dans un deuxième temps, une fois cette combinatoire automatisée, l'objectif est de s'intéresser à la voie d'adressage et à la compréhension.

Le matériel se présente sous forme de CD-Rom. La méthode comporte trois niveaux de difficultés, comprenant chacun quatre modules d'exercices : apprentissage des couleurs en rapport avec les sons voyelles, lecture de syllabes, lecture par voie directe de mots appris par cœur, puis lectures signifiantes de mots, phrases et textes.

4.1.2. L'Imprégnation Syllabique

La méthode par imprégnation syllabique a été élaborée en 2002 par Mme Garnier-Lasek, orthophoniste, à destination des enfants dyslexiques et dysphasiques. Elle considère les méthodes phonétiques trop lourdes en matière de charge cognitive pour l'enfant et préconise de se servir de la syllabe comme base minimale de découpage des mots. Elle espère diminuer les efforts mnésiques pendant l'apprentissage de la lecture, en alternant les couleurs à chaque changement de syllabe. De cette façon, celle-ci est plus facile à repérer dans le mot et soulage l'enfant de cet effort cognitif.

Cette méthode est constituée de trois étapes : automatisation de la lecture de syllabes, lecture de mots, puis lecture de phrases. La couleur est introduite pendant la deuxième étape. Trois couleurs sont utilisées : le bleu et le rouge, qui colorent les syllabes en alternance dans le mot, et le gris pour les lettres muettes. La coloration est toujours présente à l'étape trois, mais on la diminue progressivement, en ne laissant par exemple que les mots longs, complexes ou peu fréquents en couleurs.

L'auteur préconise également de travailler la lecture de syllabes en y associant les gestes de Mme Borel-Maisonny, ainsi que le travail de la conscience phonologique et la transcription en parallèle, en se basant toujours sur un système syllabique.

4.2. Méthodes utilisées en rééducation et à l'école

4.2.1. La méthode Borel-Maisonny

Créée par Suzanne Borel-Maisonny, il s'agit d'une méthode gestuelle et phonétique. Elle est reprise par Clotilde Sylvestre de Sacy dans le manuel de lecture « Bien lire et aimer lire ».

La méthode Borel-Maisonny consiste à associer un geste à chaque son (et non à chaque graphie). Ces gestes permettent à l'enfant de passer par le canal visuel et

kinesthésique pour mémoriser les sons. Ils forment des associations qui deviennent automatiques chez l'enfant et auxquelles il peut se référer s'il a un doute au cours de sa lecture.

Les apprentis-lecteurs suivent une progression prédéfinie en apprenant d'abord quelques sons avec chacun son geste et sa(ses) graphie(s), puis en les associant pour constituer des syllabes et des mots simples. Le sens est travaillé en parallèle de la phonétique : les enfants lisent des mots et des phrases ne contenant que les sons qu'ils ont déjà appris.

La couleur est présente dans chaque leçon mais il n'existe pas une couleur propre à chaque graphie : les voyelles sont en rouge, les lettres muettes en gris et les consonnes en noir. Elle intervient non pas en tant que code phonologique dans la méthode mais plutôt en tant qu'aide-mémoire pour l'enfant apprenant.

4.2.2. La Planète des Alphas

La méthode des Alphas a été créée en 1998 par Claude Huguenin, psychopédagogue, et Olivier Dubois, philosophe et spécialiste en psychologie cognitive.

Cette méthode est utilisable par les professeurs, les rééducateurs et les parents. Elle peut être proposée aux enfants dès la grande section de maternelle pour préparer l'apprentissage de la lecture.

La Planète des Alphas réinvente le principe alphabétique, jugé abstrait et arbitraire par ses auteurs, pour proposer à l'enfant un alphabet sous forme de petits personnages : les Alphas. Ces personnages ont la forme de la lettre qu'ils représentent, leur nom commence par cette lettre et leur « cri » correspond au son de la lettre. Les auteurs ont ainsi créé un univers ludique avec une personnification des lettres dans le but de s'adapter à l'imaginaire de l'enfant.

La méthode consiste à mettre en place cet univers en racontant l'histoire et les aventures des Alphas sous forme de textes courts, de dessins animés, d'exercices. Il existe également des figurines des personnages afin que les enfants puissent les manipuler, les assembler concrètement pour former des syllabes (si la fusée s'échappe avec monsieur O, ils produiront le son « fo »).

Ainsi, les enfants se voient stimulés par différents canaux : la vue, l'ouïe, le toucher, ce qui permet une meilleure compréhension et mémorisation des conversions graphèmes-phonèmes. Ils apprennent à lire de façon ludique et non formelle. C'est une méthode complète, progressive et structurée en trois niveaux.

Cette méthode a fait ses preuves et est reconnue mondialement ; elle est utilisée par plusieurs pays francophones et par l'UNESCO dans ses programmes d'alphabétisation.

4.2.3. Facilecture

Ce procédé inventé par F. Ribano, enseignant spécialisé, a vu le jour en 2010. Il a été conçu pour s'appliquer à des élèves nécessitant une aide dans l'apprentissage de la lecture, et est destiné aux enseignants, orthophonistes et maîtres des Réseaux d'Aides Spécialisées aux Elèves en Difficulté (RASED). Il est utilisable par extension à tout intervenant auprès de l'enfant dans le cadre de son apprentissage de la lecture, tel que dans l'enseignement du français langue étrangère, la lutte contre l'illettrisme, l'alphabétisation...

Cette méthode propose à l'élève de visualiser et d'utiliser les sons selon un code de 11 couleurs. L'enfant se concentre sur les sons, visualise leur combinaison à l'écrit avec des graphèmes et les lettres muettes. Il voit les sons dans les mots et apprend plus facilement quels graphèmes permettent de produire tels sons. Cela lui permet d'acquérir la combinatoire et les conversions graphèmes-phonèmes. Le code se compose ainsi : les couleurs sont réservées aux sons voyelles (voyelles orales, nasales et semi-voyelles), les sons consonnes sont différenciés par la taille de la police d'écriture (qui change selon la prononciation de la consonne) et grâce à l'italique pour les digraphes.

Cette technique est un accompagnement de l'apprenti-lecteur et non une méthode complète en soi. Elle peut être utilisée à tous les stades d'apprentissage de la lecture et en complément de méthodes classiques.

4.2.4. Lire avec Léo et Léa

Cette méthode créée par deux orthophonistes, Thérèse Cuche et Michelle Sommer, se veut avant tout synthétique et phonémique. Le code alphabétique et les conversions graphèmes-phonèmes sont appris à l'enfant de manière méthodique, ludique, progressive et complète. Elle se base sur la progression de la conscience phonétique chez l'enfant. Les auteurs souhaitent également que cette progression aille « dans le sens du processus structurant qui permet à l'enfant de se construire ». Elles ont introduit dans chaque leçon un travail sur le langage oral pour faciliter la transition entre langage oral et écrit. A la fin de chaque leçon, un texte est proposé,

ne contenant que les phonèmes déjà appris par l'élève, ce qui permet d'entretenir son appétence à la lecture.

Cette méthode vise à l'automatisation du déchiffrage, le travail de la compréhension se faisant en parallèle et la production écrite étant presque absente.

La couleur est introduite pour différencier les voyelles (en rouge) des consonnes (en bleu).

4.3. Méthode d'apprentissage des mathématiques : la méthode Cuisenaire

La Méthode Cuisenaire est une méthode d'apprentissage des mathématiques en couleurs, créée en 1945 par Georges Cuisenaire, un pédagogue belge. La première brochure explicative de cette méthode destinée à l'apprentissage du calcul pour les jeunes enfants, « Les Nombres en Couleurs », paraît en 1951 en Belgique.

Cette méthode s'appuie sur les principes suivants :

- La mise en jeu de la mémoire visuelle, auditive et kinesthésique (ou tactile) permet d'accélérer le processus d'apprentissage car un déficit dans l'une ou l'autre des perceptions est immédiatement compensé par l'action des deux autres.

- La possibilité de s'auto-corriger est donnée à l'enfant à chaque stade de la méthode : cela lui permet de mieux comprendre ses erreurs et de contrer l'effet de sanction qui peut être éprouvé à l'école.

L'enfant appréhende les nombres en manipulant des réglettes de couleurs et de tailles différentes. Cette méthode se décompose en plusieurs étapes.

Pendant la première étape, qualitative, l'enfant manipule les réglettes et découvre les relations entre elles à travers des constructions (animaux, trains, escaliers...).

Lors de l'étape quantitative, l'adulte construit un escalier avec les réglettes et les nomme à l'aide des chiffres de 1 à 10. Si l'enfant n'est pas d'accord, il peut toujours vérifier en comparant la taille : deux réglettes « 1 » font bien la même taille qu'une réglette « 2 » etc. On peut alors commencer à calculer à l'aide de manipulations et de jeux libres ou dirigés.

Suivent ensuite les étapes addition et soustraction : on propose à l'enfant de réaliser un « tapis » avec des réglettes de tailles différentes mais formant le même nombre. Cela permet à l'enfant de décomposer les nombres en visualisant les

réglettes. On lui propose d'abord de décomposer des nombres plus grands (addition), puis on l'invite à répondre à la question « qu'est-ce que j'obtiens si je retire 1 à 7 ? » (soustraction), par exemple.

On peut alors proposer des multiplications, puis des divisions, en oralisant et visualisant que l'addition répétée d'un même chiffre correspond à une multiplication. L'enfant peut vérifier que $5+5$ correspond bien à 2×5 par exemple.

4.4. Lien entre les méthodes d'apprentissage de la lecture et les synesthésies

Certaines méthodes font un lien systématique entre les lettres et les couleurs. C'est à dire qu'une lettre est toujours associée à la même couleur. C'est le cas pour Colorilire, la méthode des Alphas – qui fait un lien systématique avec les personnalités – et Facilecture. Ces méthodes ont le potentiel pour développer des synesthésies sous-jacentes : en effet, des études développées précédemment ont montré l'implication dans le développement des associations des alphabets colorés présentés au cours de l'enfance.

Ces méthodes pourraient en revanche interférer avec une synesthésie déjà existante, si l'on considère que certaines synesthésies peuvent se développer avant l'entrée dans le langage écrit et que leur expression chez l'enfant est comparable à celle de l'adulte. Les données de l'étude de Simner et al. (2009) suggèrent que les expériences synesthésiques apparaîtraient déjà à 6 ans. L'étude longitudinale menée par Simner et Bain (2013) confirme ces résultats et précise que les associations synesthésiques se développent selon une trajectoire longue : 34 % d'associations fixes à 6/7 ans, 48 % à 7/8 ans et 71 % à 10/11 ans. Il est alors tentant de supposer que les associations émergeraient en réalité plus tôt, ce qui coïnciderait avec les stades d'acquisition des séquences de lettres et chiffres. Ainsi, les couleurs imposées par certaines méthodes d'apprentissage ne correspondant pas forcément aux couleurs synesthésiques de l'enfant, cela pourrait poser problème. Toutefois, nous ne pouvons attester que les synesthésies de l'enfant soient similaires à celles de l'adulte. Il se peut en effet que les associations soient moins fortes, moins obligatoires : l'enfant pourrait alors plus facilement s'en détacher et ne serait pas perturbé par la présentation de couleurs incongruentes.

D'autres méthodes ne font pas de lien systématique, comme l'imprégnation syllabique, la méthode Borel-Maisonny et Lire avec Léo et Léa. En effet, la couleur de la lettre n'est pas stable et dépend de sa position dans le mot ou de sa nature (lettres muettes, consonne ou voyelle). Dans ce cas, gardant à l'esprit que cette hypothèse est soumise aux mêmes conditions que précédemment, nous postulons que les enfants pourraient être gênés dans leur utilisation à cause de leur synesthésie : les couleurs utilisées peuvent être incongruentes à leurs associations. De plus, elles varient régulièrement, ce qui pourrait déstabiliser les enfants ayant des associations stables entre certains graphèmes et des couleurs.

5. Avantages et coûts des synesthésies

Les synesthésies ont un profil complexe de bénéfices et de coûts, qui se manifestent différemment selon le type de synesthésie et le type de tâche. Il faut cependant préciser que ces éléments ne sont basés que sur des observations anecdotiques et des suppositions, et que cette question est très difficile à étudier de façon systématique.

5.1. Avantages

Chun et Hupé (2015) proposent une comparaison systématique de la créativité, de la personnalité, de la cognition et de l'utilisation de l'imagerie mentale entre les synesthètes et les non-synesthètes. Les synesthètes ayant participé à l'étude montrent de meilleures capacités d'absorption⁶, de compréhension verbale, de pensée visuelle convergente⁷ et verbale divergente⁸ ainsi qu'un meilleur usage de l'imagerie mentale. Cependant, leurs résultats ne montrent pas de réelles différences car ils peuvent être biaisés par la nature de l'échantillon (constitué de synesthètes s'étant portés volontaires) et donc ne pas être liés à la nature de la synesthésie. Si ces différences étaient confirmées, Chun et Hupé précisent qu'elles pourraient être soumises à l'influence bidirectionnelle de l'individu et de son environnement/ses activités, et ne pourraient être attribuées de façon directe aux synesthésies

5.1.1. Mémoire

Dans certains cas, des capacités supérieures à la moyenne dans des tâches de mémoire ont été mises en avant. Un examen neurologique permet parfois de mettre en évidence ce type de performances au dessus de la moyenne. Des chercheurs attribuent cette particularité aux associations synesthésiques qui facilitent le rappel. Ainsi, Tammet évoque dans son livre *Je suis né un jour bleu*, les paysages mentaux colorés que forment les décimales de pi, ce qui lui a permis de les retenir.

Simner et al. (2009) ont également montré que les synesthètes avec des séquences spatialisées ont de meilleures performances concernant le rappel de dates, d'événements politiques ou culturels et d'événements autobiographiques. Rothen et Meier (2010) ont cependant relativisé ces bénéfices en montrant que

6 L'absorption est une disposition qu'a une personne d'être plus facilement absorbée dans son imagerie mentale.

7 La pensée convergente requiert la production d'une seule solution déterminée à un problème.

8 La pensée divergente est une capacité faisant intervenir la créativité qui consiste à évoquer différents éléments en relation avec un élément de base.

l'avantage n'était que d'un écart type par rapport à la moyenne. De plus, cet avantage ne porte que sur la mémoire à long terme, la mémoire à court terme n'en bénéficiant pas.

5.1.2. Représentations concrètes

D'autres études ont montré qu'il y a des avantages à se représenter certaines dimensions de façon explicite et concrète.

L'expérimentation de séquences spatialisées, notamment, ou de représentations concrètes permettrait d'augmenter les capacités visuo-spatiales comme la mémoire visuelle ou la manipulation mentale d'images. Il faut cependant rappeler que les synesthètes peuvent traiter les informations visuo-spatiales différemment des non-synesthètes. Les études dans ce domaine ne prennent pas toujours en compte ces différences, leurs conclusions peuvent de ce fait être biaisées (Price, 2013).

Par ailleurs, ces synesthètes n'ont pas montré de capacités particulières dans des tâches qui n'étaient pas reliées à leur synesthésie (Simner et al., 2009). Brang et al. (2010) ont mis en avant les performances supérieures de ces mêmes synesthètes lors de l'apprentissage d'une nouvelle représentation espace-temps, par rapport à celles de non-synesthètes. Un autre synesthète témoigne que sa représentation des expressions mathématiques rend leur manipulation colorée : cela lui permet de visualiser ses erreurs car la couleur de l'expression erronée produite ne correspond pas à la couleur attendue.

5.2. Coûts

5.2.1. Attention, concentration et désorientation

Des synesthètes rapportent des difficultés pour maintenir leur attention pendant la lecture (Ward et Simner, 2003). En effet, les associations agissent parfois comme des interférences qui dérangent la concentration et peuvent rendre difficile la compréhension de textes : les synesthètes luttent contre les images qui leur parviennent et cela les empêche de saisir l'essentiel.

Luria (1995) évoque le cas d'un synesthète dont les associations synesthésiques étaient très intenses et variées. Ainsi, un seul stimulus pouvait conduire à une multitude de sensations simultanées et donc envahissantes.

Certains synesthètes évoquent leur confusion lorsque les codes couleurs de leur environnement ne correspondent pas à leurs associations. Ainsi, une synesthète

témoigne s'être perdue dans le métro, trompée par les couleurs associées aux numéros des lignes. Elle ajoute que l'existence d'un système universel est rendue impossible par la présence des synesthètes. Un bon système consisterait pour elle en un design aussi épuré que possible, car le moindre signal peut être interprété d'une façon paradoxale par certains.

5.2.2. Douleurs et sensations désagréables

Des synesthètes témoignent de migraines lorsqu'ils sont trop fatigués : ils ont alors l'impression que les perceptions synesthésiques les submergent. D'autres peuvent également ressentir une sensation de malaise quand ils sont confrontés à des configurations qui ne correspondent pas à leurs associations.

5.2.3. Difficultés d'apprentissage et mémoire

On trouve chez certains synesthètes des représentations spatiales inhabituelles de séries numériques, qui peuvent causer d'importantes difficultés dans l'apprentissage des mathématiques. Ainsi, la synesthésie numérico-spatiale est parfois accompagnée de difficultés en calcul mental.

Par ailleurs, les synesthètes utilisent des stratégies peu flexibles pour résoudre des tâches : ils éprouvent des difficultés à se détacher de leurs propres associations synesthésiques. Ainsi, les personnes ayant des représentations spatiales synesthésiques des nombres répondent moins vite lorsqu'on leur demande de comparer deux nombres dont la représentation spatiale est incongruente avec les leurs (Gertner et al., 2009; Hubbard, 2009; Piazza et al., 2006; Sagiv et al., 2006). De la même façon, Price et Mentzoni (2008) et Smilek et al. (2007) se sont intéressés à des sujets synesthètes se représentant les mois de l'année dans l'espace. Leurs performances étaient meilleures si les stimuli étaient cohérents avec leur perception mois-espace que lorsqu'ils étaient en conflit.

Enfin, les synesthètes graphème-couleur montrent des difficultés significatives pour retenir les lettres et chiffres présentés dans des couleurs incongruentes (en conflit avec leurs associations synesthésiques). Or, nous avons vu que certaines méthodes d'apprentissage de la lecture pour les enfants mettent en jeu des associations de couleurs ce qui pourrait entraver l'apprentissage de la lecture pour les enfants synesthètes. Cela pourrait notamment les submerger d'informations contradictoires. De plus, la charge cognitive requise est alors très importante et peut induire une fatigabilité et des confusions lors de l'apprentissage.

6. Buts et hypothèses

Malgré les avantages cognitifs que peuvent apporter les synesthésies, certaines études et des témoignages évoquent des difficultés liées aux perceptions synesthésiques. Les synesthètes parlent, entre autres, de leur confusion lorsque les couleurs de leur environnement ne correspondent pas à celles de leurs associations synesthésiques. Nous avons alors supposé que les couleurs utilisées dans les livres de lecture ou d'autres manuels scolaires pourraient parfois interférer avec les associations des élèves synesthètes, ce qui pourrait perturber leurs apprentissages scolaires tels que la lecture ou le calcul. D'autre part, les témoignages évoquent un surplus d'informations qui les assaille et les fatigue énormément. Cette fatigabilité affectant la concentration pourrait constituer un autre facteur participant aux difficultés des enfants concernés par ce phénomène. Notre dernier argument concerne la difficulté qu'ont certains synesthètes graphème-couleur à associer 2 lettres ou 2 chiffres qui ne « vont pas ensemble ». Par exemple, on considère un synesthète effectuant les associations suivantes : 1 bleu, 2 jaune, 3 violet et 4 vert. Si l'on ajoute $1+2$, donc bleu plus jaune, on devrait avoir comme résultat du vert et donc un 4. Or le bon résultat est un 3, dont la couleur synesthésique violette ne correspond pourtant pas au mélange des couleurs des membres du calcul. La gêne de ces synesthètes, lorsqu'ils sont confrontés à ce genre d'incohérences pourrait également expliquer leurs difficultés.

En se plaçant dans ce cadre théorique, nous formulons l'hypothèse générale qu'une synesthésie graphème-couleur chez un enfant entraînerait des difficultés d'apprentissage du langage écrit. Les synesthésies ne seraient pas complètement responsables mais représenteraient un facteur à prendre en compte lorsque l'on considère ces difficultés lors des apprentissages scolaires. Cette étude vise à fournir une analyse quantitative et qualitative des rapports entre la synesthésie graphème-couleur et les difficultés d'apprentissage de la lecture et du calcul.

L'analyse quantitative consistera à étudier la prévalence des enfants synesthètes au sein de la patientèle des orthophonistes. Elle sera calculée de la même manière que dans les études de Simner et Bain (2009, 2013). Si cette prévalence se révèle plus importante que dans la population générale, nous

pourrons en déduire la présence d'un lien entre la synesthésie et les difficultés scolaires que présentent ces enfants.

L'analyse qualitative comprendra l'étude des difficultés d'apprentissage de ces enfants synesthètes en lien avec le contexte spécifique des synesthésies. Elle sera apportée par un questionnaire à chaque enfant, dont les réponses nous aideront à déterminer s'il est synesthète.

Nous discuterons également de l'impact que semble avoir ce phénomène dans la rééducation orthophonique.

Sujets, matériel et méthode

1. Sujets

Notre étude portant sur les enfants présentant des difficultés dans les apprentissages scolaires, nous avons choisi de tester des enfants du CP au CM2. Ces enfants doivent bénéficier d'une prise en charge orthophonique pour des difficultés d'apprentissage du langage écrit et/ou du calcul⁹. Un diagnostic précis n'est pas nécessaire : cela peut aller du retard simple d'apprentissage à la dyslexie-dysorthographe avérée.

Il s'agissait d'autre part d'exclure tout critère nous empêchant à terme de conclure sur un lien entre les synesthésies et les troubles observés. Nous avons choisi d'exclure de notre recherche les enfants présentant des troubles qui expliquent directement les difficultés d'apprentissage auxquelles ils sont confrontés¹⁰. Nos critères d'exclusion concernent donc les enfants présentant :

- des troubles neurologiques, sensoriels ou moteurs ;
- un déficit intellectuel ;
- un syndrome génétique ;
- un trouble du spectre autistique (TSA) ;
- un trouble déficitaire de l'attention avec hyperactivité (TDAH).

Nous avons testé en tout 93 enfants, mais nous n'incluons dans notre étude que 79 d'entre eux. Les 14 autres ont été écartés pour deux raisons : 11 présentaient des troubles du raisonnement logico-mathématique et nous ne possédions pas assez de données (quantitatives et qualitatives) concernant les trois restant. Nos sujets sont répartis entre le CP et le CM2 et sont âgés de 5 à 11 ans. Ces enfants sont suivis pour la plupart en libéral, mais aussi dans un Centre Médico Psycho Pédagogique (CMPP) et dans un Service d'Education Spécialisée et de Soins A Domicile (SESSAD) ; dans les régions du Nord (59), du Pas-de-Calais (62), des Yvelines (78) et des Hauts-de-Seine (92) (Figure 1).

Les parents des participants et les orthophonistes recevaient les informations concernant notre étude sous la forme d'une lettre (Annexe 1, page A3 et Annexe 2,

9 Nous nous intéressons aux associations de couleurs avec des graphèmes. Nous incluons alors dans notre étude les troubles en lien avec la lecture de graphèmes, en langage écrit ou en calcul. Les troubles du raisonnement logico-mathématique ne nous intéressent pas ici.

10 Notons qu'il est rare de trouver des patients ayant des troubles du langage écrit isolés : on retrouve régulièrement des difficultés antérieures de langage oral (retard de parole ou de langage), un environnement peu porteur ou d'autres troubles associés.

page A4). Les parents autorisaient la participation de leur enfant en signant un formulaire de consentement (Annexe 3, page A5).

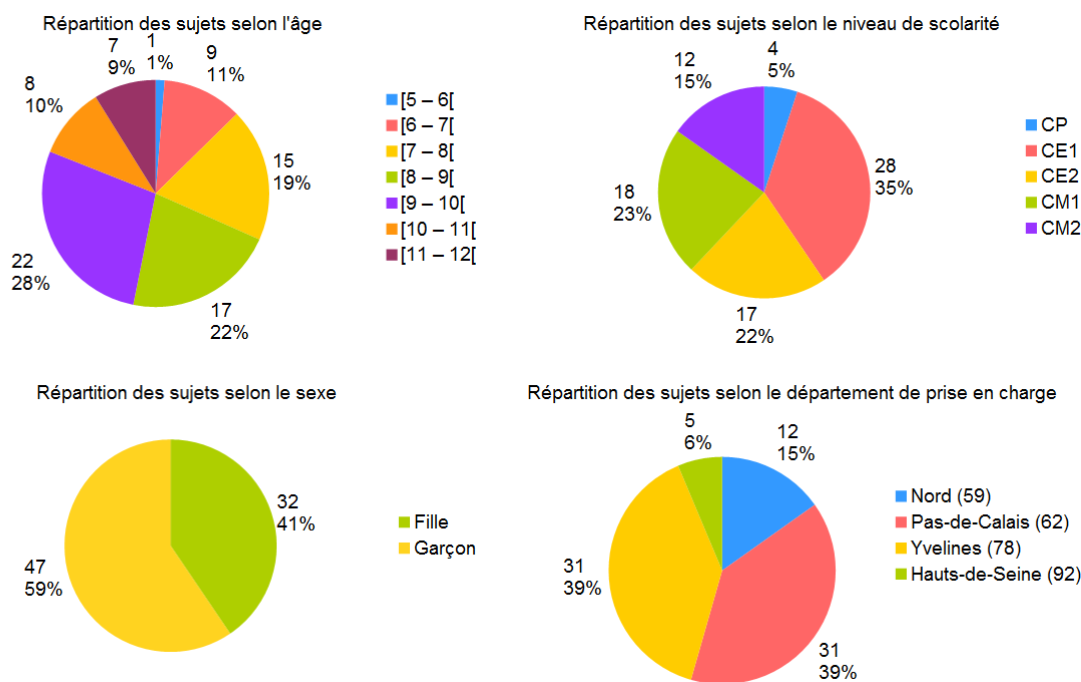


Figure 1 – Répartition des sujets selon le sexe, le niveau scolaire, l'âge et le département de prise en charge orthophonique.

2. Matériel et procédure

La partie pratique de notre étude s'inspire des recherches de Simner et al. (2009) et Simner et Bain (2013) tant au niveau du matériel que de la procédure. Nous demandons aux enfants de choisir une couleur pour chaque graphème (lettres et chiffres) parmi un choix de 12 couleurs, et ce 4 fois pour tous les graphèmes. Ce test est informatisé, adapté de celui créé par Simner et al. (2009), et accompagné d'un questionnaire.

2.1. Logiciel de passation

Dans leurs études, Simner et al. (2009) et Simner et Bain (2013) ont utilisé un test informatisé pour évaluer les associations des participants entre les graphèmes et les couleurs. Grâce à deux sessions, chacune composée de deux sous-tests, chaque graphème était associé quatre fois à une couleur. Ces données, avec l'apport d'un questionnaire qualitatif, leur permettait de repérer les sujets synesthètes des sujets non-synesthètes.

Nous nous sommes inspirées de la méthodologie de leurs études. Le test que nous utilisons fonctionne avec le logiciel OpenSesame. Les participants répondent

sur une tablette tactile. Ce test dure moins de 15 minutes, consignes comprises. Il comporte deux parties :

- La première présente au patient les 26 lettres de l'alphabet et les chiffres de 0 à 9 (Figure 2). Le sujet a pour consigne de les choisir un par un, dans l'ordre qu'il souhaite, puis de choisir la couleur qu'il pense aller le mieux avec le graphème sélectionné. Il lui est précisé qu'il n'existe pas de bonne ou de mauvaise réponse et qu'il a le droit de choisir plusieurs fois les mêmes couleurs.

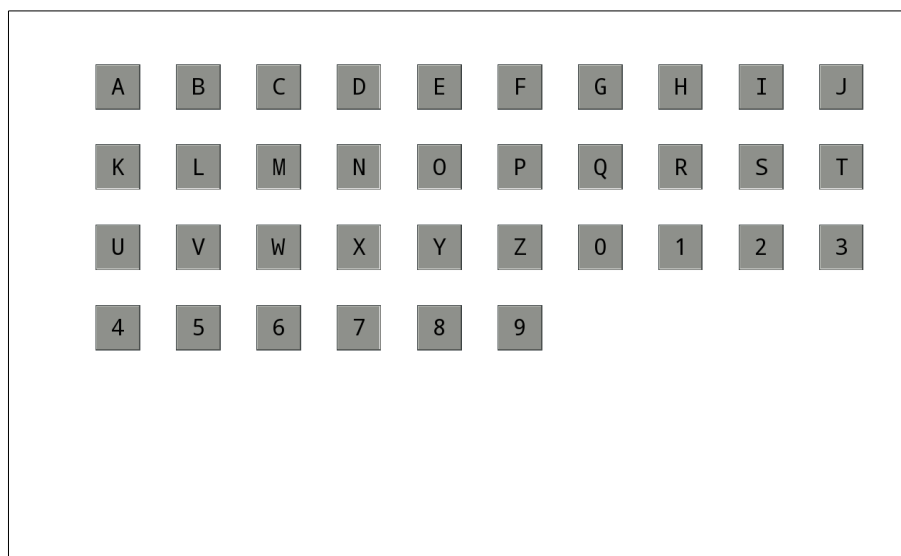


Figure 2 – Écran de démarrage du test

A chaque fois qu'il choisit un graphème, celui-ci apparaît dans une nouvelle fenêtre, accompagné de 12 carrés de couleurs différentes (Figure 3) organisées de façon aléatoire (l'ordre des couleurs change aléatoirement pour chaque graphème). Le sujet doit alors choisir « la couleur qui va le mieux » avec le graphème en question.

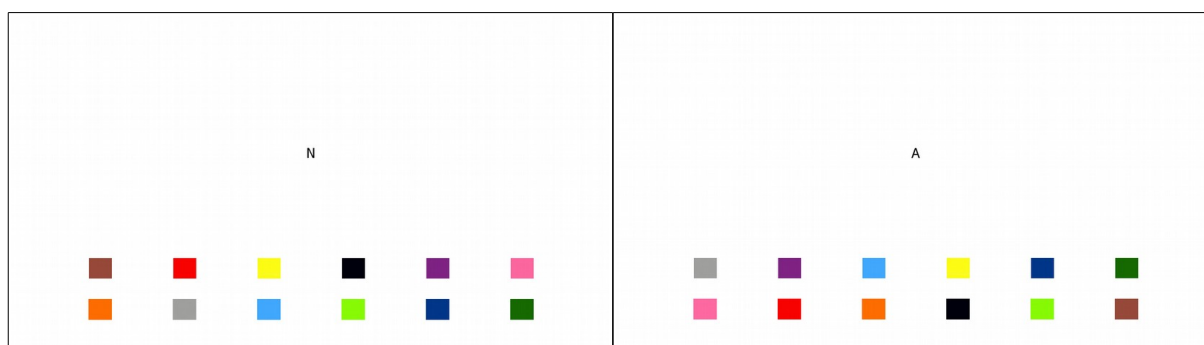


Figure 3 – Écrans de sélection des couleurs

Quand la couleur a été choisie, le graphème disparaît de la liste des graphèmes sélectionnables et apparaît en bas de la fenêtre, dans la couleur qui a été choisie par l'enfant. Il peut alors voir les graphèmes déjà traités et les couleurs choisies (Figure 4).

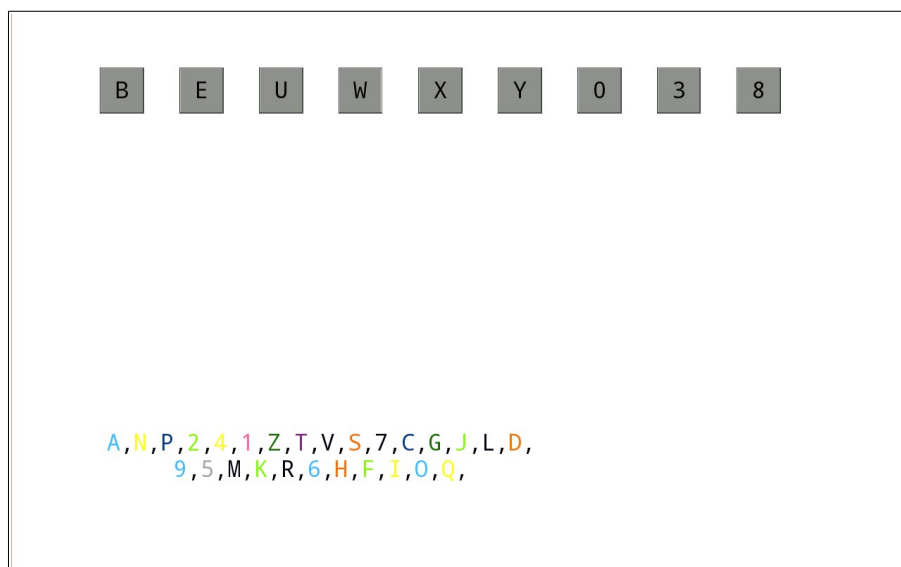


Figure 4 – Écran en cours de passation

Ce sous-test s'achève lorsque tous les graphèmes ont été sélectionnés et se sont vu attribuer une couleur. En guise de pause entre les deux parties, des questions sont posées au sujet sur sa date de naissance, sa classe et un éventuel bilinguisme.

- Un retest immédiat surprise est ensuite proposé. Dans cette seconde partie du test, les graphèmes sont présentés à l'enfant dans un ordre aléatoire par le logiciel (Figure 3). Le sujet doit choisir la couleur qui « va le mieux » avec le graphème présenté. Il lui est précisé qu'il doit bien regarder le chiffre ou la lettre avant de sélectionner la couleur qui correspond le mieux. Le sujet ne peut pas vérifier ses réponses précédentes.

L'épreuve se fait en deux passations, la Session A « test » et la Session B « retest ». La deuxième session du test a lieu au moins deux semaines après la première. Elle n'est annoncée qu'à la fin de celle-ci afin d'éviter des stratégies de mémorisation des associations. Lors de cette deuxième session, le sujet passe à

nouveau les deux sous-tests décrits ci-dessus puis il répond à un questionnaire (Annexe 4, page A6).

2.2. Questionnaire

Ce questionnaire permet d'obtenir des données qualitatives importantes pour compléter les résultats quantitatifs du test. Il consiste en des questions fermées (avec la possibilité d'être détaillées) à l'oral. Nous utilisons un questionnaire type dont il est possible de reformuler les questions. Nous pouvons également donner des exemples si l'enfant ne comprend pas le type de réponse attendu, le but étant d'obtenir le plus d'informations possibles concernant les stratégies de l'enfant et ses éventuelles expériences synesthésiques.

La première question se base sur les études de Witthoft et Winawer (2006;2013) qui montrent qu'un certain nombre de synesthètes présentent des associations apprises d'alphabets colorés de leur enfance et notamment de jouets aimantés : « Est-ce que tu as ou tu as eu des aimants de couleur en forme de lettres ou de chiffres ? ». Si l'enfant répond « oui », on lui demande s'il a choisi les mêmes couleurs que ses aimants lors du test. Ces deux questions peuvent nous orienter quant à l'origine des associations synesthésiques ou, à l'inverse, permettent de vérifier si l'enfant a mis en place une stratégie de réponse en choisissant des associations connues par cœur.

Les deux questions suivantes concernent également la synesthésie graphème-couleur : « Est-ce que tu as l'habitude de voir dans ta tête les chiffres avec des couleurs ? » et « Est-ce que tu as l'habitude de voir dans ta tête les lettres avec des couleurs ? ». Elles permettent à l'enfant d'exprimer sa façon de se représenter mentalement les graphèmes. On distingue les lettres des chiffres car le sujet peut ne présenter des associations que dans une seule des deux catégories. Si l'enfant répond « oui », il a la possibilité de donner des exemples pour préciser ses perceptions : cela permet également de vérifier qu'il a bien compris la question et qu'il n'a pas répondu au hasard.

Ensuite, si l'enfant a répondu positivement aux deux questions précédentes, nous demandons s'il savait de quelle couleur devaient être les lettres et les chiffres, et s'il a choisi les mêmes associations que celles qu'il a « dans sa tête ». Cela permet de préciser ses réponses précédentes et de vérifier qu'une comparaison est possible entre les exemples donnés au questionnaire et les associations faites sur la

tablette. Si l'enfant a répondu « non » aux deux questions précédentes, on lui demande simplement comment il a répondu au jeu. L'enfant peut alors verbaliser ses stratégies de réponses ou s'il a répondu au hasard.

Les dernières questions concernent la recherche d'autres types de synesthésie. En effet, Novich et al. (2011) trouvent une probabilité supérieure à la chance pour un synesthète graphème-couleur de présenter une autre forme de synesthésie associant des séquences (jours de la semaine, etc.) à des couleurs. Nous recherchons également d'autres formes de synesthésie impliquant les graphèmes. Nous cherchons une personnification des graphèmes - « Est-ce que les chiffres ou les lettres sont comme des personnes ? » - et des séquences spatialisées : « Est-ce que tu imagines les jours de la semaine en couleur ou organisés dans l'espace ? » et « Comment vois-tu les chiffres et les nombres dans ta tête ? En ligne ou avec des formes particulières ? Est-ce que tu les vois toujours de la même façon ? ».

Chez les enfants pour lesquels nous soupçonnons une synesthésie, nous cherchons aussi à en savoir plus quant aux méthodes d'apprentissage ou de rééducation auxquelles ils ont été exposés.

2.3. Analyse des résultats

Le protocole d'analyse des résultats contient une analyse quantitative et qualitative qui, étudiées ensemble, permettent de déterminer si le sujet est synesthète.

Lors du test informatisé, nous avons proposé aux sujets de faire des associations entre les 36 graphèmes et les 12 couleurs à quatre reprises : lors des deux sous-tests de la première session (« A1 » et « A2 ») et de la seconde session (« B1 » et « B2 »). On mesure alors la stabilité des associations, c'est à dire que l'on vérifie si l'on trouve des associations similaires dans les quatre sous-tests. Pour chaque graphème, on compare les couleurs associées : entre A1 et A2, entre A1 et B1, entre B1 et B2 et entre A2 et B2.

Pour déterminer si le sujet présente une synesthésie, Simner et al. (2009) se basent sur l'analyse de 3 critères : la constance immédiate pour la première session (comparaison A1A2), la constance immédiate pour la seconde session (comparaison B1B2), et la constance différée (comparaisons A1B1 et A2B2). Ils étudient ces critères selon l'âge des enfants (population des enfants de 6 ans et de 7 ans séparément) car ils ont trouvé des résultats différents dans ces deux populations. Ils procèdent tout d'abord à une analyse du premier critère : les synesthètes potentiels

sont les enfants ayant une moyenne d'appariements identiques significativement supérieure à la moyenne générale. Ils s'intéressent alors aux deux autres critères. Seuls les enfants remplissant les conditions pour les 3 critères sont considérés comme synesthètes.

Notre population est trop hétérogène et comprend un échantillon bien moins important que celui de Simner et ses collaborateurs, et notre méthodologie de passation est différente : nous n'avons donc pas pu reproduire leur méthodologie d'analyse. Dans leur étude, la première et la seconde session sont espacées de 12 mois. Les nôtres n'étant espacées que de 2 semaines, nous avons choisi de ne pas prendre en compte leur critère de constance différée. La moyenne d'appariements identiques pour les synesthètes potentiels trouvée par Simner et al. est de 8,7/36 graphèmes en constance immédiate (A1A2) : le seuil déterminé pour notre étude est donc de 9 associations identiques dans au moins une comparaison. Pour les enfants de plus de 10 ans, Simner et Bain (2013) ont établi un seuil d'au moins 10 lettres sur 26 ou 5 chiffres sur 10. Nous utilisons ce seuil pour les enfants de plus de 10 ans dans au moins une comparaison.

Or, les choix des enfants ne sont pas indépendants : ils sont fonction des stratégies mises en place (couleurs que l'enfant apprécie, mémoire immédiate, effet sémantique, etc.) ; ainsi, toutes les couleurs n'ont pas la même probabilité d'être choisies. On estime, grâce à un programme de permutations, la probabilité qu'a l'enfant d'effectuer une même association graphème-couleur plusieurs fois par chance. La permutation consiste à échanger, de façon aléatoire et un grand nombre de fois (50 000), les associations du sujet. Si on obtient moins de 5 % de tableaux d'associations identiques à celui de l'enfant, on considère que la probabilité qu'il ait choisi les mêmes associations par chance est faible et donc que ses choix ne sont pas le fruit du hasard.

Pour résumer, en ne prenant en compte que les données quantitatives, nous considérons un sujet comme « potentiellement synesthète » s'il montre un nombre d'associations identiques (n) de graphèmes et de couleurs, entre au moins deux sous-tests, strictement supérieur à 8 et que la probabilité (p) que ces associations soient dues au hasard est inférieure à 0,05. Pour les enfants de plus de 10 ans, nous vérifions également que n est supérieur ou égal à 10 pour les lettres ou à 5 pour les chiffres dans au moins une comparaison.

Ces analyses quantitatives sont complétées par l'analyse des observations qualitatives recueillies lors des passations et des réponses au questionnaire. Nous analysons les stratégies mises en place par les enfants pour répondre au test. Si un sujet a répondu au questionnaire d'une manière qui semble indiquer une synesthésie, nous comparons ses réponses à celles données lors du test et vérifions que ces dernières sont interprétables. Certains sujets peuvent donc être déclarés potentiellement synesthètes principalement d'après les données qualitatives.

Résultats

Afin de déterminer les sujets synesthètes, nous nous appuyons sur deux types de données : quantitatives, récoltées à l'aide du test informatique qui demande d'associer quatre fois une couleur à un même graphème, et qualitatives, récoltées à l'aide du questionnaire proposé à l'oral après les passations du test.

Nous présentons dans un premier temps les sujets qui semblent synesthètes d'après les résultats au test, puis ceux qui nous ont paru synesthètes d'après leurs réponses au questionnaire. Ensuite, nous exposons les raisons qui nous ont poussées à écarter certains sujets, et présentons pour chaque enfant la confrontation des résultats quantitatifs et qualitatifs.

1. Résultats du test (quantitatifs)

Concernant les réponses au test, rappelons les critères qui permettent d'évoquer une synesthésie potentielle. Pour qu'un sujet soit considéré comme étant « potentiellement synesthète », il doit remplir ces conditions :

- Au moins 9 (soit $n > 8$) des associations doivent être identiques dans au moins deux sous-tests (soit dans au moins une des comparaisons A1-A2, A1-B1, B1-B2, A2-B2) ; les enfants de plus de 10 ans doivent présenter au moins 10 associations identiques pour les lettres et 5 pour les chiffres dans au moins une comparaison.

- Elles doivent être significatives, c'est-à-dire que la probabilité qu'elles soient dues au hasard doit être strictement inférieure à 5 % de chance (soit $p < 0,05$).

Le tableau I ci-dessous synthétise les données quantitatives concernant les sujets qui ont été déterminés « potentiellement synesthètes » d'après les deux critères précédents. Ce tableau présente, pour chaque comparaison entre deux sous-tests, le nombre d'associations identiques pour l'ensemble des 36 graphèmes (n) et la probabilité qu'elles soient dues au hasard (p_n).

N° Sujet	A1-A2		B1-B2		A1-B1		A2-B2	
	n	p_n	n	p_n	n	p_n	n	p_n
108	7	0.02	12	0.00	9	0.00	9	0.00
120	8	0.01	6	0.08	10	0.00	6	0.07
128	13	0.00	12	0.00	11	0.00	9	0.00
136	11	0,00	Na	Na	Na	Na	Na	Na
501	1	0.96	17	0.00	2	0.79	11	0.00
517	25	0.27	31	1.00	25	0.48	30	1.00
528	3	0.59	14	0.00	9	0.00	4	0.40
540	2	0.81	10	0.00	2	0.80	7	0.03
541	5	0.16	9	0.00	2	0.81	10	0.00
543	3	0.57	8	0.01	9	0.00	6	0.04

Tableau I – Synthèse des résultats au test des sujets potentiellement synesthètes.
Légende : A1 et A2 correspondent aux deux sous-tests de la première session (A). B1 et B2 correspondent aux deux sous-tests de la seconde session (B). Les colonnes « A1-A2 », etc. correspondent à la comparaison des réponses aux deux sous-tests indiqués. Les cases sont surlignées en vert lorsque le sujet a fait de nombreuses associations identiques de façon significative ($n > 8$ et $p < 0,05$). Les cases jaunes correspondent à un nombre important d'associations identiques mais non significatives ($n > 8$ mais $p > 0,05$) ou, inversement, à un nombre peu élevé d'associations identiques significatives ($n < 8$ mais $p > 0,05$). Les cases grises représentent des comparaisons qui n'ont pas pu être faites (le sujet 136 n'a pas été retesté).

2. Résultats du questionnaire (qualitatifs)

Les questions qualitatives posées à l'enfant permettent de faire ressortir les éventuelles stratégies utilisées pendant le test et de définir ses expériences synesthésiques.

Au vu des réponses des enfants, nous avons déterminé des critères qualitatifs évoquant une potentielle synesthésie : grâce à ces renseignements, nous pouvons nous faire une première idée des sujets qui pourraient présenter une synesthésie. Voici les types de réponses évoquant une synesthésie :

- exemples d'associations entre des graphèmes (chiffres et/ou lettres) et des couleurs ;
- exemples d'associations entre des graphèmes et des traits de personnalité ;
- associations entre les jours de la semaine et des couleurs ;
- exemples de séquences spatialisées (comme une présentation verticale de la ligne numérique mentale par exemple) ;

- présence d'aimants ou d'alphabets colorés en forme de lettres et de chiffres à la maison.

Le tableau II ci-dessous synthétise les réponses données par les 16 sujets ayant évoqué une ou plusieurs de ces réponses lors du questionnaire.

N° sujet	Associations Graphème-Couleur	Associations Graphème-Personnalité	Associations Jours-Couleur	Séquences spatialisées	Aimants colorés à la maison
101	X				
104	X				
105	X		X		
107	X	X			
108	X			X	
109	X		X	X	
120	X			X	
128	X			X	
144	X				
146	X		X	X	X
501	X	X	X		
514	X			X	
528	X		X	X	X
533	X			X	X
541	X		X	X	
545	X	X	X	X	X

Tableau II – Synthèse des réponses au questionnaire des sujets potentiellement synesthètes.

3. Présentation des sujets potentiellement synesthètes

A ce stade nous avons donc 21 sujets potentiellement synesthètes. La comparaison des données qualitatives et quantitatives permet d'écarter d'emblée certains sujets, pour diverses raisons que nous exposons ci-après. Nous présenterons ensuite individuellement les sujets qui paraissent synesthètes.

3.1. Sujets écartés

Simner et al. (2009) éliminent d'office les sujets présentant des stratégies de réponses. En confrontant l'ensemble des données concernant les sujets que nous

avons déterminés comme étant potentiellement synesthètes d'après le test, nous constatons que nous pouvons écarter les sujets n° 120, 517, 540 et 543.

Le sujet 120 fait de nombreuses associations identiques et significatives ($p < 0,05$) lors du test. Cependant, il explique lors du questionnaire avoir fait des liens sémantiques : il a choisi la couleur en fonction du son de son initiale et de la lettre à associer (R rose, J jaune, V vert clair) ou selon si l'on entend la lettre dans la couleur (I gris). On constate en effet qu'il ne montre des associations identiques que pour celles ayant été choisies en utilisant cette stratégie sémantique.

Le sujet 517 montre de nombreuses associations identiques, néanmoins non significatives. Les observations pendant le test nous ont montré qu'il choisissait de façon quasi systématique la couleur noire. De plus, il dit ne pas faire d'associations entre les graphèmes et les couleurs lorsque la question lui est posée.

Le sujet 540 a répondu au test en cherchant des liens logiques entre les graphèmes et les couleurs. Par exemple, le K étant l'initiale du prénom de sa maman, il a choisi la couleur préférée de cette dernière. Il ne s'agit donc pas d'une perception additionnelle, ni automatique, mais bien d'une stratégie de réponse.

Le sujet 543 exprime avoir choisi la couleur dont le nom anglais ou français commence par la lettre associée (Y = yellow = jaune, O = orange, etc.). On constate qu'il montre un nombre important d'associations identiques mais celles n'étant pas formées d'après sa stratégie sémantique sont trop peu nombreuses pour être significatives. La constance immédiate est de 0 pour la première session et de 4 pour la seconde, et la constance différée est de 3 pour les deux comparaisons (A1B1 et A2B2). De plus, lorsque la lettre ne correspondait pas à l'initiale d'une couleur, il comptait le rang de la lettre et appuyait sur la case correspondante. Il utilisait la même stratégie pour les chiffres.

Concernant les sujets déterminés comme étant potentiellement synesthètes d'après leurs réponses au questionnaire, nous avons pu écarter les n°107 et 146 en identifiant des stratégies de réponse : nous considérons qu'ils n'ont pas compris la question et ont tenté de se rappeler des associations de leur environnement pour y répondre.

Le sujet 107 ne donne aucun exemple d'associations graphème-couleur. En réponse à la question sur d'éventuelles personnifications des graphèmes, on remarque qu'il essaie en réalité de se rappeler les personnages de la méthode de

lecture des Alphas (cf. partie 4.2.2. La Planète des Alphas), ce qu'il confirme lorsqu'on l'interroge à ce propos.

Le sujet 146 montre très peu de corrélation entre ses réponses au questionnaire et ses choix de couleurs dans le test alors même qu'il dit avoir choisi les mêmes couleurs. Les deux seules associations identiques qu'il fait ne sont pas suffisantes. De plus, il dit répondre au questionnaire en se remémorant la couleur d'aimants utilisés chez lui pour apprendre des mots de dictée.

3.2. Résultats ambigus à approfondir

En comparant ainsi toutes les données récoltées, nous sommes parvenues à déterminer que certains de nos sujets ne sont pas synesthètes. Cependant, pour un certain nombre de sujets, il nous est impossible de trancher de manière claire, à ce stade. Dans un premier temps, nous présentons donc uniquement l'ensemble des données concernant ces 14 sujets, ce qui nous permettra d'en discuter par la suite. Pour plus de clarté, nous nommons les enfants : à noter que les prénoms ont été changés dans un souci d'anonymat.

Nous synthétisons tous les résultats quantitatifs de ces sujets potentiellement synesthètes dans le tableau III ci-dessous. Celui-ci présente, pour chaque comparaison d'associations entre les sous-tests (A1-A2, B1-B2, A1-B1 et A2-B2) :

- le nombre d'associations identiques pour l'ensemble des 36 graphèmes (n),
- la probabilité qu'elles soient dues au hasard (p_n),
- le nombre d'associations identiques pour l'ensemble des 10 chiffres (n_{ch}),
- la probabilité qu'elles soient dues au hasard (p_{ch}),
- le nombre d'associations identiques pour l'ensemble des 26 lettres (n_{le}),
- la probabilité qu'elles soient dues au hasard (p_{le}).

La comparaison des données qualitatives et quantitatives pour chaque sujet est disponible en annexe (Annexe 5, pages A7 à A20).

N° sujet	A1-A2						B1-B2						A1-B1						A2-B2					
	n	p	n_ch	p_ch	n_le	p_le	n	p	n_ch	p_ch	n_le	p_le	n	p	n_ch	p_ch	n_le	p_le	n	p	n_ch	p_ch	n_le	p_le
101	0	1,00	0	1,00	0	1,00	2	0,82	0	1,00	2	0,63	2	0,83	1	0,73	1	0,91	1	0,95	0	1,00	1	0,90
104	1	0,95	0	1,00	1	0,90	2	0,82	0	1,00	2	0,60	1	0,95	0	1,00	1	0,86	4	0,40	2	0,19	2	0,63
105	2	0,81	0	1,00	2	0,66	5	0,17	2	0,14	3	0,32	2	0,82	1	0,58	1	0,91	4	0,41	1	0,62	3	0,36
108	7	0,02	0	1,00	7	0,00	12	0,00	2	0,18	10	0,00	9	0,00	2	0,14	7	0,00	9	0,00	0	1,00	9	0,00
109	1	0,96	0	1,00	1	0,90	6	0,03	2	0,15	4	0,11	4	0,27	1	0,57	3	0,28	6	0,07	4	0,01	2	0,57
128	13	0,00	1	0,56	12	0,00	12	0,00	4	0,04	8	0,00	11	0,00	0	1,00	11	0,00	9	0,00	1	0,45	8	0,00
136	11	0,00	5	0,00	6	0,01	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na
144	6	0,08	0	1,00	6	0,02	6	0,10	2	0,19	4	0,28	4	0,35	1	0,37	3	0,34	5	0,21	1	0,59	4	0,26
501	1	0,96	0	1,00	1	0,94	17	0,00	4	0,02	13	0,00	2	0,79	1	0,36	1	0,88	11	0,00	2	0,38	9	0,00
514	5	0,22	4	0,01	1	0,92	6	0,11	2	0,54	4	0,20	2	0,80	0	1,00	2	0,64	3	0,59	2	0,38	1	0,91
528	3	0,59	0	1,00	3	0,37	14	0,00	5	0,01	9	0,00	9	0,00	5	0,00	4	0,19	4	0,40	0	1,00	4	0,21
533	3	0,57	1	0,59	2	0,64	11	0,16	3	0,12	8	0,51	2	0,91	0	1,00	2	0,63	3	0,87	0	1,00	3	0,71
541	5	0,16	1	0,65	4	0,14	9	0,00	2	0,27	7	0,01	2	0,81	0	1,00	2	0,67	10	0,00	0	1,00	10	0,00
545	Na	Na	Na	Na	Na	Na	1	0,97	0	1,00	1	0,93	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na

Tableau III – Synthèse des résultats au test des sujets potentiellement synesthètes.

Légende : Le code couleur et les abréviations restent les mêmes que pour le tableau I. Les cases rouges correspondent aux associations de chiffres ou de lettres représentatives.

3.2.1. Sujet 101 : Hubert

Hubert est âgé de 9 ans et 8 mois au moment du test. Il est pris en charge dans un cabinet libéral dans le Pas-de-Calais pour une dyslexie et une dyscalculie. Il est actuellement en CE2, en ayant redoublé son CP.

En comparant les associations de couleurs et de graphèmes qu'il a effectuées lors du test, on constate que peu d'entre elles sont identiques. Il a néanmoins exprimé pendant le questionnaire qu'il associait certaines lettres et certains chiffres à des couleurs. Il nous a dit ne pas avoir réutilisé ces couleurs dans le test, c'est pourquoi nous retrouvons peu de correspondance. Si les couleurs présentes « dans sa tête » n'ont pas été utilisées pendant le test, il est difficile de prendre en compte les réponses dans ce dernier.

3.2.2. Sujet 104 : Iris

Iris est âgée de 10 ans et 10 mois lors de la passation du test. Elle est scolarisée en CM2. Iris est suivie en orthophonie pour des troubles du langage écrit ainsi que des troubles logico-mathématiques, dans un cabinet libéral du Pas-de-Calais (62).

En observant ses résultats au test, on remarque qu'Iris fait très peu d'associations identiques entre les sous-tests, et qu'aucune n'est significative. Concernant le questionnaire, elle explique cependant associer certains chiffres avec des couleurs (le 5 en vert clair, le 1 en violet) mais que ces associations sont très inconstantes. En effet, on ne les retrouve pas dans les réponses au test. Elle verbalise également voir certaines lettres en couleur lorsqu'elle se concentre dessus (sans donner d'exemples). Enfin, elle nous dit avoir des aimants en forme de lettres chez elle, mais ne pas avoir choisi les mêmes couleurs dans le test.

3.2.3. Sujet 105 : Adrien

Adrien, âgé de 8 ans et 3 mois, est en CE1. Il est pris en charge dans un cabinet libéral du Nord (59) pour des troubles du langage écrit.

On relève peu d'associations identiques entre les différents sous-tests (le maximum est de 5 entre B1 et B2). On remarque que le O est associé systématiquement au bleu clair. On constate également 5 associations identiques entre au moins un sous-test et la réponse donnée par Adrien au questionnaire (F rouge en A1 ; L bleu → bleu foncé en B1 et bleu clair en A2 ; 2 bleu foncé en A2 ; 6 vert foncé en B2 ; 7 rouge en A1).

3.2.4. Sujet 108 : Martin

Martin est âgé de 9 ans et 4 mois au moment de la passation. Il est scolarisé en CM1. Il bénéficie d'une prise en charge dans un cabinet libéral dans le Nord (59) pour des troubles du langage écrit.

Les associations qu'il a effectuées durant le test apparaissent significatives. En effet, toutes les comparaisons entre les sous-tests ont montré plus de 8 associations identiques et une probabilité que cela soit dû au hasard inférieure à 0,05. On remarque que la proportion d'associations non sémantiques est inférieure au seuil de 9 associations identiques entre deux sous-tests : 3 associations identiques entre A1-A2, 6 entre B1-B2, 4 entre A1-B1 et 6 entre A2-B2 (exemples : A est en rose et S en vert foncé dans trois sous-tests sur 4).

3.2.5. Sujet 109 : Alexis

Alexis est âgé de 9 ans et est scolarisé en CE2. Il est pris en charge pour des troubles du langage écrit chez une orthophoniste libérale du Nord (59).

En comparant les associations qu'il a effectuées dans les différents sous-tests, on remarque que 6 graphèmes sur 36 sont identiques de façon significative ($p < 0,05$) entre B1 et B2, et que 4 chiffres sur 10 sont identiques et significatifs entre A2 et B2. D'autres associations sont identiques en comparant les sous-tests restants, mais elles ne sont pas considérées comme significatives (c'est-à-dire qu'elles ont une forte probabilité d'être le fruit du hasard). Alexis nous dit dans le questionnaire voir les lettres de son prénom en couleur, ainsi que le A en jaune (ce que l'on retrouve dans 3 associations sur 4 dans le test). Il parle également de séquences spatialisées pour les chiffres, qu'il voit organisés en forme de grandes lettres (par exemple les chiffres de 1 à 11 sont disposés de manière à former la lettre A). Il associe également parfois les jours de la semaine à des couleurs.

3.2.6. Sujet 128 : Emma

Emma est âgée de 10 ans et 10 mois lors de la passation du test. Elle est en CM2. Elle est prise en charge en orthophonie pour des troubles du langage écrit et du langage oral. Emma présente en effet un important retard de parole et de langage, ce qui cause des inversions et des confusions auditives, se répercutant dans son apprentissage du langage écrit. Lors du questionnaire, elle nous dit voir « parfois les voyelles en bleu ».

Au test, on note les résultats suivants :

- entre A1 et A2, 13 associations identiques dont 1 chiffre et 12 lettres ;
- entre B1 et B2, 12 dont 4 chiffres et 8 lettres ;
- entre A1 et B1, 11 associations identiques concernant uniquement les lettres ;
- entre A2 et B2, 9 dont 1 chiffre et 8 lettres.

On trouve 4 associations sémantiques (B bleu clair, J jaune, R rouge et V violet).

3.2.7. Sujet 136 : Thibault

Thibault a 11 ans et 1 mois au moment du test. Il est en CM2 et est pris en charge en orthophonie pour des difficultés de langage écrit dans un cabinet libéral dans la région du Nord (59).

Thibault n'a fait que la première session (A1 et A2). La comparaison des associations qu'il a effectuées lors de ces deux sous-tests fait ressortir un nombre important d'associations identiques (11/36 graphèmes dont 5 chiffres et 6 lettres). De plus, la probabilité qu'il ait répondu au hasard est nulle. On ne remarque pas d'effet sémantique évident (E bleu clair, L rouge...), mais ses réponses au questionnaire lors de la seconde session nous auraient indiqué s'il a tenté de faire des liens logiques. On constate que la plupart des associations identiques entre A1 et A2 se font avec du noir (5/11).

3.2.8. Sujet 144 : Justine

Justine est en CM1 et est âgée de 9 ans et 2 mois au moment des passations. Elle est suivie par un orthophoniste libéral dans le Nord pour ses difficultés de langage écrit.

Au test, Justine ne présente une comparaison de ses associations significatives qu'entre A1 et A2 et elle ne répond une même couleur que pour 6 graphèmes dans ces deux sous-tests. Cependant, elle verbalise lors du questionnaire certaines associations et on constate qu'elles sont pour la plupart identiques à ses réponses au test (A jaune dans les quatre sous-tests, Q est vert dans 2 sous-tests).

Concernant les chiffres, elle dit ne pas les visualiser en couleurs et ses réponses aux tests montrent en effet une absence d'associations identiques.

3.2.9. Sujet 501 : Rémi

Rémi, 9 ans et 2 mois au moment des tests, est en CM1. Il suit une prise en charge depuis 2013 pour une dyslexie-dysorthographe importante. Il présente des troubles tant en lecture qu'en transcription dans les deux voies de lecture : le bilan

orthophonique de 2014 fait part notamment d'erreurs de segmentation, d'ajouts, omissions ou confusions de lettres (correspondance graphème-phonème non acquise en CE2), et d'un adressage déficitaire avec de nombreuses fautes d'usage. Ses capacités mnésiques (mémoire à court terme et mémoire de travail) sont également déficitaires.

Lors du test, on remarque de nombreuses associations identiques et une comparaison significative entre B1-B2 et A2-B2 :

- entre B1 et B2 on note 17 associations identiques dont 13 lettres, ce qui correspond au score le plus élevé obtenu dans cette étude ;
- entre A2 et B2, Rémi a fait 11 associations identiques dont 9 lettres.

Les associations ne semblent pas dues à des liens sémantiques ou logiques.

Lors du questionnaire, Rémi n'est capable de citer que 3 associations (H bleu, Q marron et O rouge). On constate qu'elles diffèrent de ses réponses au test.

3.2.10. Sujet 514 : Madeleine

Madeleine a 10 ans 7 mois au moment des passations. Elle est en CM1, après avoir effectué deux CE2. Elle est prise en charge dans un cabinet libéral des Yvelines (78) pour une dyslexie et une dysorthographe.

Dans ses réponses au test, on remarque assez peu d'associations identiques entre les sous-tests (maximum 6 dans la comparaison B1-B2), et seulement celles concernant les chiffres en A1-A2 sont significatives. Dans le questionnaire, elle dit faire des associations entre les chiffres et les couleurs. On ne retrouve que deux (sur cinq) associations identiques entre le test et ses exemples (3 violet et 4 vert en B2), alors qu'elle explique avoir choisi les mêmes couleurs. Elle a également accès à un alphabet coloré à la maison.

3.2.11. Sujet 528 : Bertille

Bertille a 7 ans et 2 mois et est en classe de CE1. Elle est prise en charge en orthophonie pour son retard de langage écrit depuis mars 2015 : lors de son CP, elle présentait des difficultés à entrer dans l'écrit et à comprendre les mécanismes de la lecture et la transcription.

Bertille associe des graphèmes aux mêmes couleurs de façon importante et significative dans les sous-tests A1-B1 (9 graphèmes sur 36) et B1-B2 (14 associations identiques). On retrouve dans ses associations au test 7 associations

identiques à ses réponses au questionnaire : par exemple, elle associe 4 fois le C au jaune et, un peu plus tard, exprime associer le C à cette même couleur.

3.2.12. Sujet 533 : Louis

Louis est en CM2 à 11 ans, après avoir redoublé le CM1. Il suit une prise en charge depuis 2009 pour un retard de parole. Depuis il présente des difficultés à l'écrit et est diagnostiqué dysorthographique : les deux voies sont déficitaires en transcription mais ses difficultés en lecture sont moindres.

Lors du questionnaire, il exprime avoir uniquement joué avec les couleurs pendant le test. On constate qu'il a effectivement choisi principalement du jaune et a parfois choisi deux couleurs en les alternant. Les analyses des associations lors des passations ne sont donc pas significatives. Lorsqu'on lui pose la question, il verbalise cependant un certain nombre d'associations avec les chiffres et les lettres (10), et mêmes certains prénoms (exemples : 1 orange, 2 violet, Anne-Claire en rose, son prénom en jaune...).

3.2.13. Sujet 541 : Alexandra

Alexandra, 10 ans et 9 mois, CM2, est prise en charge en orthophonie dans un cabinet libéral dans les Yvelines (78) depuis 2013 (milieu de son CE1) pour des troubles du langage écrit. Depuis, un diagnostic de dyslexie-dysorthographie a été posé.

Concernant les réponses au test, on remarque que les comparaisons des sous-tests B1-B2 et A2-B2 sont significatives pour les lettres. On remarque quelques associations sémantiques (6), comme le B associé au bleu ou le M au marron. En revanche les associations qu'Alexandra dit faire lors du questionnaire ne correspondent pas toujours à ses réponses au test : seules 3 associations sont identiques, et concernent des réponses faites lors du dernier sous-test. Il peut s'agir de la mémorisation de son choix précédent.

3.2.14. Sujet 545 : Aurore

Aurore, âgée de 7 ans et 10 mois, est scolarisée en CE1. Elle suit une prise en charge orthophonique dans les Hauts-de-Seine (92) en libéral pour une dyslexie-dysorthographie. On suspecte également chez elle la présence d'une dysphasie associée, qui n'est pas encore confirmée par un diagnostic.

On ne dispose pour Aurore que des résultats de la seconde session (B1 et

B2)¹¹, ainsi que des données qualitatives. Le test montre une seule association identique entre B1 et B2. Cependant le questionnaire nous apporte beaucoup d'informations. Aurore dispose chez elle d'aimants en forme de lettres colorées dont elle dit avoir choisi les mêmes couleurs mais, dans le test, on ne trouve pas les associations entre graphèmes et couleurs qu'elle évoque dans le questionnaire. Ensuite, Aurore évoque des personnifications de graphèmes : le F est jaloux, il ne veut pas travailler, le H est méchant et détruit tout, le M est rigolo, le 9 est énervé, etc. sans qu'elle puisse l'expliquer. Elle parle également d'associations entre les jours de la semaine et des couleurs.

Ne pouvant pas étayer ces données par des données quantitatives, on ne peut exclure la possibilité qu'Aurore ait voulu "bien répondre" à nos questions en faisant appel à son imagination.

¹¹ Suite à une erreur de manipulation, Aurore a quitté le logiciel de force, ce qui a probablement « écrasé » les données de la première session.

Discussion

La méthodologie de cette étude est à un stade exploratoire. Dans la partie précédente, on se rend compte des limites auxquelles elle se heurte et qui empêchent souvent de poser une conclusion nette quant à la présence d'une synesthésie.

Nous présentons dans un premier temps les difficultés rencontrées. Celles-ci concernent l'interprétation des résultats ainsi que des éléments intrinsèques à l'enfance et aux spécificités des synesthésies au cours du développement. Cela nous permet de mettre en avant différents profils rencontrés et les conclusions à tirer dans chaque situation. Nous discutons ensuite des sujets « potentiellement synesthètes » grâce à ces nouveaux éléments d'analyse.

Cela mène au calcul de la prévalence d'enfants synesthètes parmi la population des enfants pris en charge en orthophonie et à une réflexion sur les perspectives orthophoniques.

1. Difficultés quant à la détermination d'une synesthésie chez l'enfant

1.1. Interprétation des réponses au test

On remarque tout d'abord que les réponses que donnent les enfants au test ne sont pas toujours interprétables. La consigne donnée est intentionnellement vague afin de ne pas orienter les enfants dans leurs réponses et fausser les résultats : on suppose que les synesthètes reproduiront leurs associations dans leurs réponses, alors que les non-synesthètes répondront de façon plus aléatoire car la consigne est trop imprécise. De plus, Simner et al. (2009) ont constaté que les non-synesthètes ont plus tendance à répondre en utilisant des stratégies, sémantiques notamment.

Lors des passations, on a effectivement observé la mise en place de stratégies chez les non-synesthètes. Ces enfants disent ne pas « voir » les graphèmes en couleur dans leur tête et ils décrivent les stratégies qu'ils ont utilisées : ils expliquent avoir cherché des liens logiques ou simplement avoir joué avec les cases et les couleurs. Certains présentent un faible taux d'associations identiques entre les sous-tests ou celles-ci ne sont pas significatives, et disent ne pas faire d'associations lors du questionnaire. D'autres enfants évoquent des associations lors du questionnaire et disent avoir utilisé les mêmes lors du test. Or lorsqu'on étudie leurs réponses au test, on constate que les critères de constance ne sont pas remplis. Pour ces

enfants, il est aisé de conclure : ils ne satisfont pas les critères requis et ne sont donc pas synesthètes.

Cependant, on se heurte au cas où on ne peut pas confronter ce que fait l'enfant et ce qu'il en perçoit consciemment. Certains enfants disent ne pas avoir fait les mêmes choix au test que les "couleurs qu'ils ont dans leur tête" (utilisation de stratégie ou simple envie de jouer avec les cases), d'autres étaient absents lors de la seconde session. Dans ces cas-là, on ne peut pas prendre en compte les résultats au test et on ne peut se fier qu'aux éléments qualitatifs. Or, la comparaison des résultats quantitatifs et des données qualitatives est très importante : elle permet de confirmer une tendance en étayant les résultats dans l'une ou l'autre des modalités. Dans ces cas-là, on ne peut pas conclure.

D'autre part, en l'absence de données quantitatives analysables, les éléments qualitatifs seuls ne sont pas toujours fiables.

1.2. Fiabilité des éléments qualitatifs

La nature des questions et le temps imparti pour la passation ne permettent pas toujours de trancher ; de plus, on ne peut pas se fier totalement et uniquement à ce que dit l'enfant.

En effet, certains enfants répondent ce qu'ils pensent être "la bonne réponse" ou, pour faire plaisir à l'investigateur, inventent des associations. On rencontre aussi des cas où l'enfant ne comprend pas la question et cherche à se rappeler les couleurs contenues dans les alphabets colorés ou les méthodes de lecture avec lesquels il est, ou a été, en contact. On peut parfois s'en rendre compte, notamment si l'enfant se contredit, s'il semble réfléchir trop longuement ou si l'on reconnaît une méthode d'apprentissage en couleurs (comme le sujet 107 qui se remémore les personnages de la méthode des Alphas). On cherche alors à approfondir, et l'enfant admet parfois ses stratégies.

On suppose également que certains enfants, parmi les plus jeunes notamment, n'ont simplement pas un niveau de métacognition suffisant, c'est à dire une conscience de leurs processus mentaux, pour répondre correctement.

Les réponses des enfants sont donc trop incertaines : parce qu'ils ne comprennent pas toutes les implications ou le sens de nos questions et qu'ils n'osent pas toujours demander ou bien parce que leurs réponses seront changeantes d'une

fois sur l'autre. Ainsi, en l'absence de données quantitatives ou lorsque celles-ci sont en contradiction avec ce que dit l'enfant, on ne peut pas conclure.

La figure 5 ci-dessous synthétise les différents cas de figures auxquels nous sommes confrontés lors de la comparaison des données quantitatives et qualitatives. Elle permet de rendre compte des conclusions que nous pouvons tirer dans chacune des situations rencontrées.

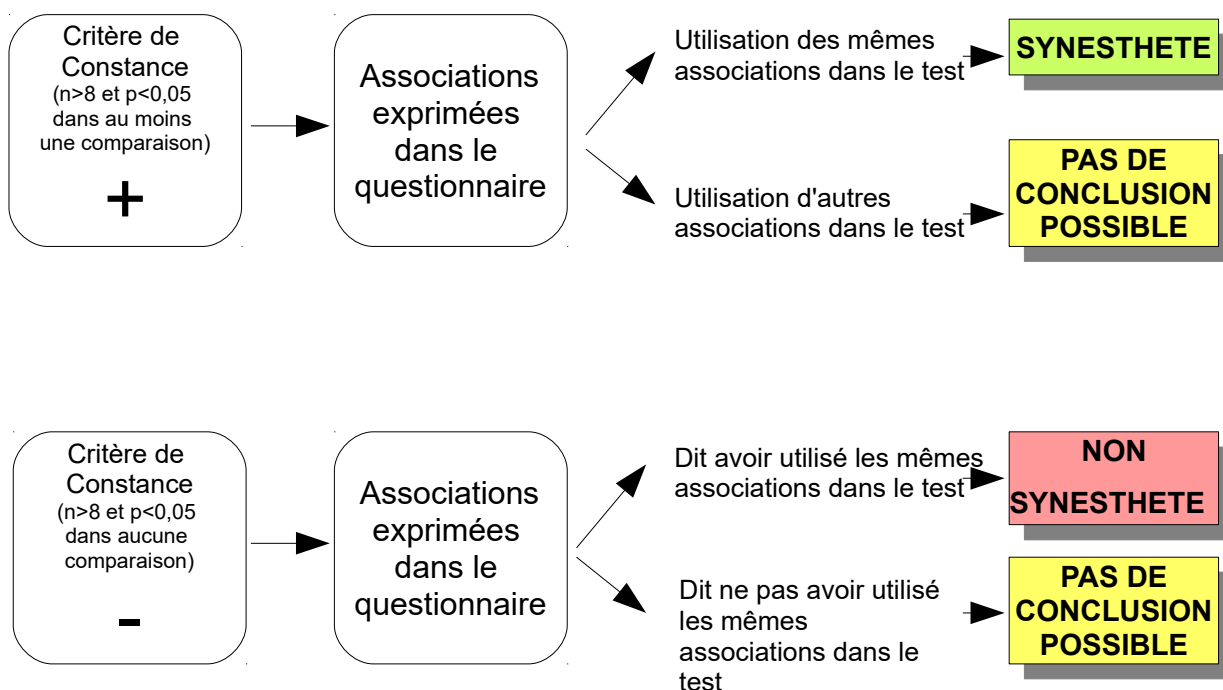


Figure 5 - Arbre décisionnel concernant la présence de synesthésie chez les sujets.

1.3. Difficultés d'interprétation liées à la nature des synesthésies de l'enfant

Nous avons vu que les synesthésies se développent dans l'enfance (cf. 3.1. Développement de la synesthésie chez l'enfant) et il a été montré que les associations se stabilisent dans le temps : elles sont donc encore fluctuantes chez les jeunes enfants. Simner et Bain (2013) ont étudié le développement de la synesthésie au cours d'une étude longitudinale. Ils ont observé que certains sujets, qu'ils avaient déterminés comme étant synesthètes à 7 ans, ne présentaient plus aucune association lorsqu'ils étaient testés à nouveau un ou deux ans plus tard. Chez d'autres enfants, les synesthésies et la stabilité de leurs associations se développaient selon des rythmes très différents.

Notre méthodologie de passation ne comprend que deux tests soumis aux enfants à 2 semaines d'intervalle. Nos résultats permettent seulement d'évoquer une

potentielle synesthésie. Pour les confirmer, il faudrait pouvoir tester ces enfants à nouveau régulièrement au fil des ans.

2. Synthèse des résultats

2.1. Synthèse des stratégies de réponse observées

Nous avons observé les stratégies de réponse mises en place par les sujets :

- réponses aléatoires et très rapides, parfois sans même avoir eu le temps de voir le graphème à associer ;

- choix d'une même couleur ou d'une même case de façon systématique ;

- jeu dans le choix des cases (Figure 6) : nous avons pu observer cette stratégie flagrante lors des passations. Les enfants la mettant en place répondent très rapidement, sans même regarder le graphème à associer. Il arrive parfois qu'ils appuient frénétiquement sur une seule case (souvent la première ou celle qui est la plus proche de leur doigt).

- jeu dans le choix des couleurs. Cette stratégie était plus ou moins observable lors des passations : certains enfants choisissent une même couleur de façon systématique ou alternent entre deux ou trois couleurs. Ils sont capables de nous faire part de leur stratégie lors du questionnaire ou pendant la passation. Exemples donnés par les enfants eux-mêmes : « *J'ai choisi mes couleurs préférées* », « *Je vais faire un arc-en-ciel* ».

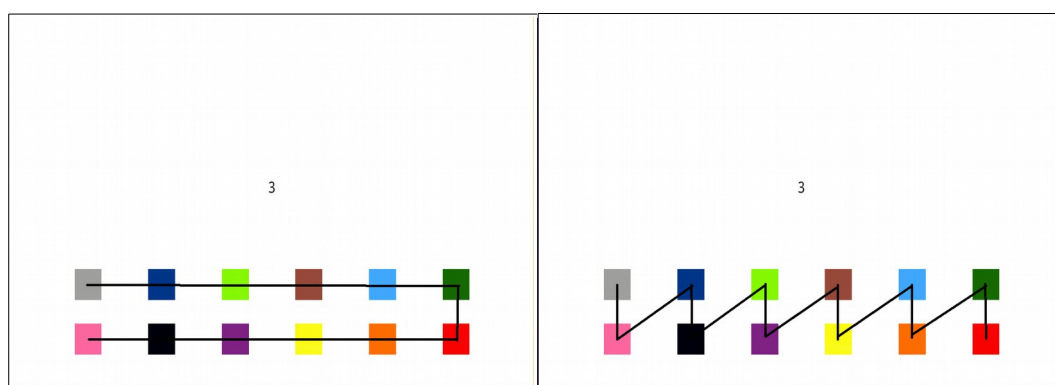


Figure 6 : exemples de schémas de réponses des enfants stratégiques jouant avec les cases

- stratégies sémantiques : certains enfants associent la couleur à son initiale ou à un de ses phonèmes. Ils peuvent également faire des liens entre le graphème et un objet représentatif d'une couleur, des personnes de leur entourage ou des situations connues. Exemples : « *J c'est comme pour jaune* » ; « *I pour gris* » ; « *V me fait penser à des vagues, donc j'ai mis le V en bleu* » ; « *A c'est comme ma*

maman qui s'appelle Amélie, et sa couleur préférée c'est le orange » ; « E, c'est comme heureux, on rougit et on est rouge ».

D'après Simner et al. (2009), ces stratégies sont connues pour être plus utilisées par des non-synesthètes que par des synesthètes. Des associations de type sémantique sont cependant présentes également chez des synesthètes adultes (Rich et al., 2015). Nous excluons donc les sujets présentant des associations faites uniquement avec cette stratégie et pour lesquels l'analyse de leurs réponses au questionnaire évoque la recherche d'une stratégie de réponse et non de réelles associations perçues. Nous conservons les enfants qui ne les utilisent pas de façon exclusive.

2.2. Synthèse des profils et conclusion quant à la présence d'une synesthésie

Nous avons présenté dans les résultats les synesthètes potentiels que la confrontation des données récoltées avait fait ressortir. Après avoir déterminé de façon plus précise les critères à prendre en compte et les conclusions à tirer dans chaque cas, nous dégageons ici des profils-types et apportons une réflexion quant à la présence ou non d'une synesthésie pour chaque sujet.

2.2.1. Sujets non synesthètes

Les associations de Justine (144) ne remplissent pas le critère de constance (score insuffisant de six associations identiques, avec $p=0,08$, entre deux sous-tests d'une même session). Elle dit faire des associations lettre-couleur. Sur les quatre exemples qu'elle donne à l'oral on retrouve effectivement les quatre mêmes associations dans le test. Cependant l'une d'elles pourrait être liée à la mémorisation des associations du dernier sous-test. Le nombre d'associations identiques est trop faible pour évoquer une synesthésie.

Madeleine (514) dit avoir utilisé les mêmes couleurs dans le test que celles qu'elle exprime à l'oral. Or, on ne retrouve que deux associations identiques sur les cinq exemples donnés. De plus, le critère de constance n'est pas respecté.

Pour Aurore (545), les associations observées dans le test ne sont pas corrélées aux réponses du questionnaire. Elle verbalise certaines associations (3 exemples), qu'elle dit avoir utilisées dans le test alors que ce n'est pas le cas. On ne

peut pas prendre en compte ses réponses qui sont contradictoires. De plus, le critère de constance n'est pas rempli.

Pour ces trois enfants, nous concluons qu'elles ne sont pas synesthètes.

2.2.2. Sujets pour lesquels on ne peut pas conclure

Pour certains sujets, nous sommes confrontées à un ensemble de données qui ne nous permet pas de conclure.

Pour Hubert (101), Iris (104) nous ne pouvons pas interpréter les résultats quantitatifs. Les réponses de ces sujets montrent en effet trois caractéristiques :

- très peu d'associations identiques et significatives dans le test (2 au maximum pour Hubert et 4 pour Iris) ;
- des exemples d'expériences synesthésiques exprimés lors du questionnaire évoquant une potentielle synesthésie ;
- la non-utilisation de ces mêmes associations dans le test (exprimée par l'enfant et vérifiée à travers l'analyse des résultats).

Le fait que les enfants disent avoir répondu au hasard, ou en tout cas ne pas avoir utilisé leurs associations synesthésiques pendant le test, rend la confrontation des données quantitatives avec les exemples donnés à l'oral inutile : on sait qu'on ne retrouvera pas d'associations identiques. Nous ne pouvons pas conclure à une synesthésie avec la seule analyse de leurs réponses au questionnaire.

Nous ne pouvons rien conclure non plus pour Adrien (105) et Alexis (109). Les profils de ces deux enfants sont hétérogènes : on trouve peu d'associations, significatives ou non. Chacun a donné des exemples d'expériences synesthésiques, bien que très peu nombreuses (sur un ou deux graphèmes en moyenne), et ce sont souvent les mêmes entre le questionnaire et le test, alors que l'enfant nous exprime ne pas avoir choisi selon les associations qu'il fait dans sa tête.

Les associations d'Emma (128) remplissent le critère de constance dans toutes les comparaisons (elle présente également plus de dix associations identiques de lettre-couleur dans trois des quatre sous-tests, critère à remplir pour les plus de dix ans). D'autre part, ses réponses au questionnaire semblent évoquer une synesthésie. Cependant, elle nous précise ne pas avoir utilisé lors du test les mêmes couleurs que dans sa tête, on ne peut donc pas prendre en compte ses réponses.

Thibault (136) n'a participé qu'à la première session du test et n'a pas pu être retesté. En comparant les deux sous-tests (A1 et A2), nous avons trouvé un taux suffisamment important d'associations identiques et significatives pour le classer

parmi les synesthètes potentiels. Cependant, ce sont les seules analyses que nous sommes en mesure de faire : nous ne possédons aucune donnée qualitative et nous ne pouvons procéder à des comparaisons avec les sous-tests B1 et B2.

Rémi (501) valide le critère de constance dans deux sous-tests. Dans le questionnaire il dit faire des associations graphème-couleur et répond avoir utilisé ces mêmes couleurs pendant le test. Or, les exemples qu'il donne ne se retrouvent dans aucun sous-test.

Pour Louis (533), nous avons constaté pendant la passation qu'il jouait avec les couleurs : il l'exprime par ailleurs lors du questionnaire en disant avoir alterné le jaune et l'orange. Le critère de constance n'est donc pas respecté et, malgré son témoignage d'expériences synesthésiques concernant les lettres, chiffres et prénoms, on ne peut pas confirmer la présence d'une synesthésie.

2.2.3. Sujets synesthètes graphème-couleur

Les profils suivants correspondent aux critères que nous avons fixés. Nous suggérons la présence d'une synesthésie lorsque l'on constate une cohérence entre les données qualitatives et quantitatives (cf. figure 5).

Martin (108), Bertille (528) et Alexandra (541) respectent le critère de constance dans au moins deux comparaisons. Leurs réponses sont cohérentes avec le questionnaire : ils évoquent des associations graphème-couleur et expriment les avoir utilisées pendant le test.

2.2.4. Recherche de formes de synesthésies associées

Lors de notre questionnaire, nous avons cherché à étendre le champ les données qualitatives à travers les questions 6 à 9. Celles-ci permettent de faire ressortir la présence éventuelle d'autres formes de synesthésie. Il est intéressant de constater que certains sujets évoquent plusieurs formes associées.

D'après leurs réponses au questionnaire, Emma (128), Rémi (501), Madeleine (514), Bertille (528) et Alexandra (541) associeraient ainsi leur synesthésie graphème-couleur à d'autres formes. Emma (128) explique qu'elle voit mentalement les chiffres dans le désordre : elle présenterait donc des séquences spatialisées. De la même manière, Rémi (501) associerait les jours de la semaine avec la météo (par exemple il fait beau le lundi mais il pleut le mardi) et présenterait une personnification de certains chiffres (ils seraient gentils ou méchants). Madeleine (514) se représente la LNM verticalement, de haut en bas (ce qui correspondrait à des séquences

spécialisées). Bertille (528) présenterait une synesthésie jours de la semaine-couleur. Enfin Alexandra (541) présenterait des séquences spatialisées : les chiffres et les nombres « flottent » dans son espace péri-personnel. Elle dit également associer les jours de la semaine à des couleurs.

D'autres enfants pour lesquels nous n'avons pu conclure à la présence d'une synesthésie graphème-couleur semblent évoquer d'autres formes de synesthésie. Alexis (109) et Aline (112) nous parlent en effet d'associations entre les jours de la semaine et des couleurs et évoquent des séquences spatialisées : pour l'un, les chiffres et les nombres se rassembleraient pour former de grandes lettres (par exemple les numéros de 1 à 11 forment la lettre A), quand l'autre se représenterait la ligne numérique mentale verticalement, le 0 se situant en haut et le reste défilerait vers le bas. Louis (533) visualise sa LNM en vert, et associe certains prénoms avec des couleurs. Aurore (545) montre une synesthésie jours de la semaine-couleur ainsi qu'une forte personnalisation des graphèmes. En effet, pour elle, le F est jaloux, il ne veut pas travailler, le H est méchant et détruit tout, le M est rigolo, le 9 est énervé, etc.

Il est important de noter qu'il ne s'agit que d'indices exprimés par les enfants, mais sans preuve ni confirmation possible. En effet, certains enfants ont répondu par l'affirmative à nos questions et, lorsqu'on leur demande des précisions, ils ne sont capables de nous citer que des personnifications que nous leur avons données en exemple afin qu'ils comprennent bien la question. On ne peut pas non plus exclure la possibilité qu'ils aient imaginé des associations pour donner la « bonne réponse ».

3. Discussion des résultats et de la validation de l'hypothèse initiale

3.1. Prévalence des synesthètes dans la population ciblée

Dans notre échantillon de 79 sujets, nous retrouvons donc 3 sujets que nous déterminons comme étant synesthètes, et 8 sujets que nous supposons synesthètes mais pour lesquels aucune conclusion certaine n'est possible. L'annexe 6 (page A21) présente les caractéristiques de notre échantillon de sujets potentiellement synesthètes (âge, scolarité, diagnostic éventuel, sexe).

Notre prévalence de synesthètes graphème-couleur parmi la population prise en charge par des orthophonistes pour des troubles du langage écrit est donc de 3,8 % avec un intervalle de confiance à 95 %, entre 0.9% et 10.7%.

Cependant, pour pouvoir comparer les résultats de cette étude à ceux de Simner et al. (2009), il faut appliquer leurs critères à notre population. Ceux-ci sont plus stricts que les nôtres d'un point de vue quantitatif et prennent en compte d'une moindre façon les données qualitatives. Selon leurs critères, aucun enfant de notre échantillon n'est synesthète (cf. Tableau IV. On trouvera en annexe 7, p. A22, un tableau comparatif de nos critères et des leurs, avec les conclusions correspondantes sur la présence d'une synesthésie pour chaque sujet). Cela correspond à ce que prédisent Simner et ses collaborateurs. Ils obtiennent en effet une prévalence de 1,3 % : avec un intervalle de confiance à 95 % pour 615 enfants testés, le pourcentage d'enfants synesthètes est compris entre 0,57 % et 2,55 %. Cela correspond, sur notre échantillon de 79 sujets, à un intervalle de 0 à 2 enfants environ.

N° sujet	Age	Constance n>8 (n>10 après 10 ans) et p<0,05 dans au moins 1 comparaison	Conclusion sur la présence d'une synesthésie selon Simner
101	9;8 ans	-	Non synesthète
104	10;10 ans	-	Non synesthète
105	8;3 ans	-	Non synesthète
108	9;4 ans	+ (Sauf n=7 en A1A2)	Non synesthète (n>8 et p<0,05 pas dans toutes les comparaisons)
109	9 ans	-	Non synesthète
128	10;10 ans	+ (n_let=8 en B1B2)	Presque synesthète (n_let<10)
136	11;1 ans	+ (A1A2 uniquement)	Non synesthète (n>10 et p<0,05 pas dans toutes les comparaisons)
144	9;2 ans	-	Non synesthète
501	9;2 ans	+ (dans B1B2 et A1B1)	Non synesthète (n>8 et p<0,05 pas dans toutes les comparaisons)
514	10;7 ans	-	Non synesthète
528	7;2 ans	+ (dans B1B2 et A1B1)	Non synesthète (n>8 et p<0,05 pas dans toutes les comparaisons)
533	11 ans	-	Non synesthète
541	10;9 ans	+ (dans B1B2 et A2B2)	Non synesthète (n>10 et p<0,05 pas dans toutes les comparaisons)
545	7;10 ans	-	Non synesthète (n>8 et p<0,05 pas dans toutes les comparaisons)

Tableau IV – Tableau décisionnel quant à la présence d'une synesthésie selon les critères de Simner et al. (2009).

3.2. Invalidation de l'hypothèse de départ

Notre hypothèse initiale est que la synesthésie graphème-couleur chez un enfant serait en lien avec des difficultés d'apprentissage du langage écrit. Les résultats de Simner et Bain (2013) et Bor et al. (2014) évoqués dans la partie théorique (cf. 3.1. Développement des synesthésies chez l'enfant) semblent en effet indiquer une coïncidence entre les âges d'apparition d'associations synesthésiques graphème-couleur et des difficultés d'apprentissage du langage écrit.

Nous supposions que la prévalence serait plus importante que dans la population générale. Cela se révèle ne pas être le cas, lorsque nous nous basons sur les critères de Simner et al. (2009). D'après nos propres critères, nous trouvons cependant 3 enfants dont les résultats évoquent une synesthésie et 8 pour lesquels aucune conclusion n'est possible. Pour confirmer la présence d'une synesthésie de manière certaine, il faudrait poursuivre une étude longitudinale selon la méthodologie de Simner et Bain (2013). Cela permettrait d'étudier d'une part l'évolution des associations, de vérifier leur persistance et leur stabilité dans le temps et de confirmer la tendance amorcée dans notre étude ; et d'autre part de lever les incertitudes concernant les enfants pour lesquels on ne peut conclure. Un calcul significatif de la prévalence serait alors possible.

D'autre part, les enfants testés ici présentent trop peu d'associations synesthésiques pour que cela puisse interférer dans la lecture. Les trois enfants déterminés comme étant synesthètes présentent relativement peu d'associations identiques pour leur âge : la plupart du temps à peine plus que le seuil déterminé, et pas dans toutes les comparaisons, alors qu'ils ont respectivement 9 ans 4 mois, 7 ans 2 mois et 10 ans 10 mois. Or, d'après Simner et Bain (2013), les enfants de 6/7 ans présentent en moyenne 34 % d'associations stables et ceux de 10/11 ans 71 %. Ce n'est pas le cas pour ces enfants. Ils semblent ainsi montrer une flexibilité dans le choix des couleurs : leur synesthésie ne semble pas leur imposer des associations assez stables ni assez nombreuses pour les perturber dans leurs apprentissages.

Pour les enfants de notre échantillon, nous considérons donc que l'hypothèse n'est pas validée. Pour résumer, même si les synesthésies de ces enfants étaient confirmées, elles ne semblent pas interférer dans leurs apprentissages. En effet, on

observe un nombre restreint d'enfants présentant des associations. Celles-ci sont peu nombreuses et semblent peu contraignantes.

4. Perspectives orthophoniques

Nous avons pour but d'étudier une éventuelle interférence de la synesthésie graphème-couleur dans l'apprentissage ou la rééducation de la lecture. En effet, les enfants synesthètes associent des couleurs à des graphèmes, et ces associations ne sont pas toujours congruentes avec les méthodes mettant en jeu des couleurs qui leur sont proposées. Cela devait ainsi permettre d'étudier les implications des synesthésies à l'école et en séance d'orthophonie.

Notre étude se basant sur le principe de cas-témoins, nous demandions aux sujets (ou à leurs parents) de se remémorer leur exposition à une méthode d'apprentissage en particulier. Au cours de nos investigations, nous avons constaté que la majorité des participants ne pouvaient pas nous renseigner à ce sujet. On constate en revanche que les orthophonistes utilisent souvent des codes couleurs lors des séances pour palier les confusions de sons et de lettres. On remarque également l'utilisation de méthodes telles que l'imprégnation syllabique, la Planète des Alphas et Lire avec Léo et Léa. Nous ne sommes pas en mesure de savoir si nos sujets ont été confrontés à ce type de méthodes.

De plus, comme nous l'avons expliqué précédemment, les synesthètes que nous avons repérés dans notre échantillon présentent assez peu d'associations. Ces dernières semblent être assez instables et se manifester d'une manière bien moins obligatoire et envahissante que chez l'adulte : elles laisseraient une place suffisante aux associations colorées proposées éventuellement par une méthode de lecture. Une autre proposition est que les enfants synesthètes seraient capables de suffisamment d'adaptation pour passer outre leurs perceptions additionnelles. Il en découle que la synesthésie ne serait pas un frein dans l'apprentissage de la lecture avec une méthode proposant des associations graphème-couleur.

Notre hypothèse n'est pas validée, cependant la probabilité de prendre en charge des enfants synesthètes n'est pas nulle et un impact de cette synesthésie ne peut être totalement écarté même si le risque semble faible. Au cours de nos recherches, les orthophonistes, parents et enfants rencontrés ne faisaient pas part

de difficultés particulières liées à de potentielles associations de couleurs. Cela pourrait être dû à plusieurs facteurs :

- le manque d'information à ce sujet : ils ne feraient pas spécialement le lien entre les difficultés observées et la mise en jeu de couleurs dans les méthodes ;
- une absence effective d'un quelconque impact des synesthésies sur les apprentissages.

Bien que nous ne possédions des données que pour un échantillon réduit, nous n'excluons pas l'existence de cas particuliers d'enfants dont la synesthésie interférerait avec les apprentissages. Il conviendrait alors d'informer et de sensibiliser les orthophonistes sur l'existence de ce phénomène. Nous souhaiterions leur suggérer des adaptations pour les enfants qu'ils pensent synesthètes et qui sembleraient gênés dans leurs apprentissages par cette synesthésie. Il serait alors pertinent d'évaluer l'impact et l'apport réel de ces adaptations sur la prise en charge.

Pour les orthophonistes ayant un doute quant à l'existence d'une synesthésie chez un de leur patient, nous leur proposons de dépister les synesthésies à travers un questionnaire. Les seules données qualitatives ne suffisant pas à déterminer clairement une synesthésie, le but serait plutôt de dégager des associations de couleurs préférentielles de l'enfant, pour ainsi adapter au mieux leur prise en charge. Il s'agirait d'un questionnaire convenant à une situation de bilan orthophonique, rédigé de façon à ce qu'il soit clair d'utilisation pour l'orthophoniste et compréhensible par le patient. Le manuel d'utilisation comprendrait éventuellement une note d'information à destination des orthophonistes sur les synesthésies et l'intérêt d'adapter sa prise en charge.

Concernant la rééducation en elle-même, nous suggérons que le matériel proposé soit adapté aux associations de l'enfant, afin de ne pas ajouter de confusions à celles existantes. Cela permettrait également au patient de réinvestir la charge cognitive habituellement consacrée à l'interférence de ses associations dans la rééducation en elle-même. Ce matériel présenterait des couleurs congruentes à ses associations synesthésiques (définies grâce au questionnaire). Il serait également envisageable, lors d'un futur travail de recherche, de créer une application ou un logiciel permettant de modifier la couleur de graphèmes ou de mots afin de les faire coïncider avec les associations de chaque patient.

Conclusion

Nous nous interrogeons à travers ce mémoire sur une éventuelle interférence de la synesthésie graphème-couleur dans l'apprentissage du langage écrit. Notre hypothèse proposait que nous trouverions une proportion plus importante de synesthètes parmi la patientèle des orthophonistes que dans la population générale. Nous nous interrogeons également sur l'impact des synesthésies lorsque ces enfants apprennent à lire avec des méthodes de lecture mettant en jeu des couleurs, éventuellement incongruentes avec leurs associations synesthésiques.

Lors de nos recherches, nous nous sommes heurtées à l'impossibilité de conclure avec certitude à la présence d'une synesthésie chez nos participants. Malgré cela, nous avons pu repérer 3 synesthètes et 8 synesthètes potentiels dont il serait utile de suivre l'évolution. D'après ces résultats, la prévalence des enfants synesthètes parmi la patientèle des orthophonistes serait de 3,8 %. Ces résultats sont cohérents avec ceux de la littérature. En effet, lorsque l'on applique les mêmes critères que l'étude de référence (Simner et al., 2009), aucun synesthète ne ressort : cela correspond à ce qui est prédit par cette étude (entre 0 et 2 synesthètes dans un échantillon de 79 sujets). D'autre part, les orthophonistes et les parents ne rapportent pas de difficultés particulières quant à l'utilisation de méthodes mettant en jeu des couleurs avec les enfants expérimentant possiblement des associations synesthésiques.

Ces constatations vont dans le sens d'une invalidation de l'hypothèse initiale.

Une étude longitudinale de nos sujets permettrait d'observer l'évolution des associations et de confirmer les synesthésies, voire d'en détecter chez des sujets écartés ici.

Nous espérons que notre travail permettra de sensibiliser les orthophonistes à l'existence des synesthésies. En effet, nous n'excluons pas la possibilité que celles-ci interfèrent dans certains cas avec l'apprentissage du langage écrit. Nous proposons alors aux orthophonistes d'adapter leur prise en charge aux associations de couleurs et de graphèmes des enfants synesthètes, afin de leur proposer un environnement plus serein et plus propice à la rééducation. Ces adaptations consisteraient en un moyen de repérer les associations et de modifier le matériel en les prenant en compte. Il serait pertinent d'évaluer l'impact et l'apport réel de telles adaptations à la rééducation orthophonique.

Bibliographie

- Armel, K. C., & Ramachandran, V. S. (1999). Acquired synesthesia in retinitis pigmentosa. *Neurocase*, 5 : 293-296.
- Asher, J. E., Aitken, M. R., Farooqi, N., Kurmani, S., & Baron-Cohen, S. (2006). Diagnosing and phenotyping visual synaesthesia : A preliminary evaluation of the revised Test of Genuineness (TOG-R). *Cortex*, 42 : 137–146.
- Barnett, K. J., Finucane, C., Asher, J. E., Bargary, G., Corvin, A. P., Newell, F. N., & Mitchell, K. J. (2008). Familial patterns and the origins of individual differences in synaesthesia. *Cognition*, 106 : 871-893.
- Baron-Cohen, S. (1996). Is there a normal phase of synaesthesia in development. *Psyche*, 2 : 223–228.
- Baron-Cohen, S., Wyke, M. A., & Binnie, C. (1987). Hearing words and seeing colours : an experimental investigation of a case of synaesthesia. *Perception*, 16 : 761–767.
- Beeli, G., Esslen, M., & Jancke, L. (2008). Time course of neural activity correlated with colored-hearing synesthesia. *Cerebral Cortex*, 18 : 379-385.
- Bor, D., Rothen, N., Schwartzman, D. J., Clayton, S., & Seth, A. K. (2014). Adults can be trained to acquire synesthetic experiences. *Scientific Reports*, 4 : 70-89.
- Brang, D., Teuscher, U., Ramachandran, V. S., & Coulson, S. (2010). Temporal sequences, synesthetic mappings, and cultural biases: The geography of time. *Consciousness and Cognition*, 19 : 311-320.
- Bremmer, F. (2005). What's next ? Sequential movement encoding in primary motor cortex. *Neuron*, 45 : 819-821.
- Candau, J. (2010). Intersensorialité humaine et cognition sociale. *Communications*, 86 : 25–36.
- Caspar, É. A., & Kolinsky, R. (2013). Revue d'un phénomène étrange: la synesthésie. *L'Année psychologique*, 113 : 629–666.
- Chagnon, C. (s. d.). *La synesthésie ou la communication entre les sens*. UV de maîtrise de Neurosciences de Lambert, J. F.
- Chun, C. A., & Hupé, J.-M. (2013). Mirror-touch and ticker tape experiences in synesthesia. *Frontiers in Psychology*, 4.
- Chun, C. A., & Hupé, J.-M. (2015). Are synesthetes exceptional beyond their synesthetic associations ? A systematic comparison of creativity, personality, cognition, and mental imagery in synesthetes and controls. *British Journal of Psychology*.
- Clervoy, P., Andruéтан, Y., Benali, A., & Vautier, V. (2012). Synesthésies émnésiques dans les états de stress post-traumatiques. *Annales Médico-Psychologiques*, 170 : 190-192.
- Cohen Kadosh, R., Sagiv, N., Linden, D. E. J., Robertson, L. C., Elinger, G., & Henik, A. (2005). When blue is larger than red : Colors influence numerical cognition in synesthesia. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17 : 1766-1773.
- Cohen, L., & Dehaene, S. (2004). Specialization within the ventral stream: the case for the visual word form area. *Neuroimage*, 22 : 466-476.

- Colizoli, O., Murre, J. M., & Rouw, R. (2012). Pseudo-synesthesia through reading books with colored letters. *PloS one*, 7 : e39799.
- Cornaz, E. (1851). *De l'hyperchromatopsie* (Vol. XXV). Bruxelles, G. Stapleaux.
- Dixon, M. J., Smilek, D., Duffy, P. L., Zanna, M. P., & Merikle, P. M. (2006). The role of meaning in grapheme-colour synaesthesia. *Cortex*, 42 : 243-252.
- Dixon, M., Smilek, D., Wagar, B., & Merikle, P. (2004). Grapheme-color synesthesia : When 7 is yellow and D is blue. In : Calvert G., Spence C. & Stein B. E. (Eds.) *Handbook of multisensory processes*. Cambridge, MA, US, MIT Press : 837-849.
- Edquist, J., Rich, A. N., Brinkman, C., & Mattingley, J. B. (2005). Do synaesthetic colours act as unique features for visual search ? *Cortex*, 42 : 221-231.
- Esterman, M., Verstynen, T., Ivry, R. B., & Robertson, L. C. (2006). Coming unbound: disrupting automatic integration of synesthetic color and graphemes by transcranial magnetic stimulation of the right parietal lobe. *Journal of cognitive neuroscience*, 18 : 1570–1576.
- Fénélon, G., & Alves, G. (2010). Epidemiologie of psychosis in Parkinson's disease. *Journal of The Neurological Science*, 289 : 12-17.
- Flournoy, T. (1893). *Des phénomènes de synopsis (audition colorée) photismes, schèmes visuels, personnifications*. Paris, Alcan.
- Galton, F. (1880). Visualised numerals. *Journal of the Anthropological Institute*, 10 : 85-102.
- Galton, F. (1883). *Inquiries into Human*. New York, AMS Press.
- Garnier, M.-M., Hupé, J.-M., & Guidetti, M. (s. d.). *When A is not red but pink or yellow*.
- Gertner, L., Henik, A., & Kadosh, R. C. (2009). When 9 is not on the right: Implications from number-form synesthesia. *Consciousness and Cognition*, 18 : 366-374.
- Grossenbacher, P. G. (1997). Perception and sensory information in synaesthetic experience. In Baron-Cohen, S. & Harrison, J. (Eds.), *Synaesthesia: Classic and contemporary readings*. Malden, Blackwell Publishing : 148-172.
- Hartman, A. M., & Hollister, L. E. (1963). Effects of mescaline, lysergic acid diethylamide and psilocybin on color perception. *Psychopharmacologia*, 4 : 441-451.
- Howells, T. H. (1944). The experimental development of color-tone synesthesia. *Journal of Experimental Psychology*, 34 : 87-103.
- Hubbard, E., & Ramachandran, V. S. (2003). The phenomenology of synaesthesia. *Journal of consciousness studies*, 10 : 49–57.
- Hubbard, E. M., Ranzini, M., Piazza, M., & Dehaene, S. (2009). What information is critical to elicit interference in number-form synaesthesia? *Cortex*, 45 : 1200-1216.
- Hupé, J.-M. (2012a). Les synesthésies : à chacun ses illusions. *Cerveau&Psycho*, (L'essentiel n°12), 88-93.
- Hupé, J.-M. (2012b). Synesthésie, expression subjective d'un palimpseste neuronal ? *médecine/sciences*, 28 : 765-771.

- Hupé, J.-M., Bordier, C., & Dojat, M. (2012a). The Neural Bases of Grapheme-Color Synesthesia Are Not Localized in Real Color-Sensitive Areas. *Cerebral Cortex*, 22 : 1622-1633.
- Hupé, J.-M., & Dojat, M. (2015). A critical review of the neuroimaging literature on synesthesia. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9.
- Jacobs, L., Karpik, A., Bozian, D., & Gothgen, S. (1981). Auditory-visual synesthesia: Sound-induced photism. *Archives of Neurology*, 38 : 211-129.
- Jäncke, L., & Langer, N. (2011). A strong parietal hub in the small-world network of coloured-hearing synaesthetes during resting state EEG. *Journal of Neuropsychology*, 5 : 178-202.
- Kadosh, R. C., Gertner, L., & Terhune, D. B. (2012). Exceptional Abilities in the Spatial Representation of Numbers and Time: Insights from Synesthesia. *The Neuroscientist*, 18 : 208-215.
- Kadosh, R. C., Henik, A., Catena, A., Walsh, V., & Fuentes, L. J. (2009). Induced cross-modal synaesthetic experience without abnormal neuronal connections. *Psychological Science*, 20 : 258–265.
- Kennedy, H., Batardiere, A., Dehay, C., & Barone, P. (1997). Synaesthesia : Implications for developmental neurobiology. In S. Baron-Cohen, & J. Harrison, (Eds.), *Synaesthesia: Classic and contemporary readings*. Malden, Blackwell Publishing : 243-256
- Luria, A. (1995). Une prodigieuse mémoire. In *L'Homme dont le monde volait en éclats*. Paris, Seuil.
- Marks, L. E. (1975). On colored-hearing synesthesia: Cross-modal translations of sensory dimensions. *Psychological Bulletin*, 82 : 303-331.
- Martino, G., & Marks, L. E. (2001). Synesthesia: Strong and weak. *Current Directions in Psychological Science*, 10 : 61–65.
- Maurer, D., & Maurer, C. (1988). *The world of the newborn*. New York, Basic Books.
- Muggleton, N., Tsakanikos, E., Walsh, V., & Ward, J. (2007). Disruption of synaesthesia following TMS of the right posterior parietal cortex. *Neuropsychologia*, 45 : 1582–1585.
- Neufeld, J., Sinke, C., Dillo, W., Emrich, H. M., Szycik, G.R., Dima, D., Bleich, S., & Zedler, M. (2012). The neural correlates of coloured music : A functional MRI investigation of auditory-visual synaesthesia. *Neuropsychologia*, 50 : 85-89.
- Nunn, J. A., Gregory, L. J., Brammer, M., Williams, S. C. R., Parslow, D. M., Morgan, M. J., Morris, R. G., Bullmore, E. T., Baron-Cohe, S., & Gray, J. A. (2002). Functional magnetic resonance imaging of synesthesia: activation of V4/V8 by spoken words. *Nature Neuroscience*, 5 : 371-375.
- Paulesu, E., Harrison, J. E., Baron-Cohen, S., Watson, J. D. G., Goldstein, L., Heather, J. (1995). The physiology of coloured hearing: A PET activation study of colour-word synaesthesia. *Brain*, 118 : 661-676.
- Piazza, M., Pinel, P., & Dehaene, S. (2006). Objective correlates of an unusual subjective experience: A single-case study of number–form synaesthesia. *Cognitive Neuropsychology*, 23 : 1162-1173.
- Price, M. C., & Mentzoni, R. A. (2008). Where is January? The month-SNARC effect in sequence-form synaesthetes. *Cortex*, 44 : 890-907.

- Price, M. C., & Pearson, D. G. (2013). Toward a visuospatial developmental account of sequence-space synesthesia. *Front. Hum. Neurosci*, 7 : 10–3389.
- Ramachandran, V. S., & Hubbard, E. M. (2001). Synaesthesia—a window into perception, thought and language. *Journal of consciousness studies*, 8 : 3–34.
- Rich, A. N., Bradshaw, J. L., & Mattingley, J. B. (2005a). A systematic, large-scale study of synaesthesia: implications for the role of early experience in lexical-colour associations. *Cognition*, 98 : 53-84.
- Rich, A. N., Bradshaw, J. L., & Mattingley, J. B. (2005b). A systematic, large-scale study of synaesthesia: implications for the role of early experience in lexical-colour associations. *Cognition*, 98 : 53-84.
- Rickard, T. C., Romero, S. G., Basso, G., Wharton, C., Flitman, S., & Grafman, J. (2000). The calculating brain: an fMRI study. *Neuropsychologia*, 38 : 325-335.
- Rosenthal, V. (2011). Synesthésie en mode majeur: une introduction. *Intellectica*, 1 : 7–45.
- Ro, T., Farnè, A., Johnson, R. M., Wedeen, V., Chu, Z., Wang, Z. J., Hunter, J. V., & Beauchamp, M. S. (2007). Feeling sounds after a thalamic lesion. *Annals of Neurology*, 62 : 433-441.
- Rothen, N., & Meier, B. (2010). Grapheme-colour synaesthesia yields an ordinary rather than extraordinary memory advantage: Evidence from a group study. *Memory*, 18 : 258-264.
- Rothen, N., & Meier, B. (2014). Acquiring synaesthesia: insights from training studies. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8.
- Rouw, R., Scholte, H. S., & Colizoli, O. (2011). Brain areas involved in synaesthesia: A review: Brain areas in synaesthesia. *Journal of Neuropsychology*, 5 : 214-242.
- Rouw, R., & Scholte, H. S. (2007). Increased structural connectivity in grapheme-color synesthesia. *Natural Neuroscience*, 10, 792-797.
- Sagiv, N., Simner, J., Collins, J., Butterworth, B., & Ward, J. (2006). What is the relationship between synaesthesia and visuo-spatial number forms? *Cognition*, 101 : 114-128.
- Seron. (1992). Images of numbers, or when 98 is upper left and 6 sky blue. *Cognition*, 44 : 159-196.
- Simner, J. (2012). Defining synaesthesia. *British Journal of Psychology*, 103 : 1-15.
- Simner, J., & Bain, A. E. (2013). A longitudinal study of grapheme-color synesthesia in childhood: 6/7 years to 10/11 years. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7.
- Simner, J., Harrold, J., Creed, H., Monro, L., & Foulkes, L. (2009). Early detection of markers for synaesthesia in childhood populations. *Brain*, 132 : 57-64.
- Simner, J., & Holenstein, E. (2007). Ordinal linguistic personification as a variant of synesthesia. *Journal of cognitive neuroscience*, 19 : 694–703.
- Simner, J., Mulvenna, C., Sagiv, N., Tsakanikos, E., Witherby, S. A., Fraser, C., Scott, K., & Ward, J. (2006). Synaesthesia: The prevalence of atypical cross-modal experiences. *Perception*, 35 : 1024-1033.

- Smilek, D., Callejas, A., Dixon, M. J., & Merikle, P. M. (2007). Ovals of time: Time-space associations in synaesthesia. *Consciousness and Cognition*, 16 : 507-519.
- Smilek, D., Dixon, M. J., Cudahy, C., & Merikle, P. M. (2002). Synesthetic color experiences influence memory. *Psychological science*, 13 : 548-552.
- Spector, F., & Maurer, D. (2008). The colour of Os : Naturally biased associations between shape and colour. *Perception*, 37 : 841-847.
- Spector, F., & Maurer, D. (2011). The colors of the alphabet: Naturally-biased associations between shape and color. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 37 : 484-495.
- Tammet, D. (2007). *Je suis né un jour bleu*. Editions Les Arènes.
- Tomson, S. N., Avidan, N., Lee, K., Sarma, A. K., Tushe, R., Milewicz, D. M., Bray, M., Leal, S. M., & Eagleman, D. M. (2011). The genetics of colored sequence synesthesia: Suggestive evidence of linkage to 16q and genetic heterogeneity for the condition. *Behavioural Brain Research*, 223 : 48-52.
- Ward, J., Huckstep, B., & Tsakanikos, E. (2006). Sound-color synaesthesia : To what extent does it use cross-modal mechanisms common to us all ? *Cortex*, 42 : 264-280.
- Ward, J., Sagiv, N., & Butterworth, B. (2009). The impact of visuo-spatial number forms on simple arithmetic. *Cortex*, 45 : 1261-1265.
- Ward, J., & Simner, J. (2003). Lexical-gustatory synaesthesia: linguistic and conceptual factors. *Cognition*, 89 : 237-261.
- Ward, J., Tsakanikos, E., & Bray, A. (2006). Synesthesia for Reading and Playing Musical Notes. *Neurocase*, 12 : 27-34.
- Weiss, P. H., Zilles, K., & Fink, G. R. (2005). When visual perception causes feeling: enhanced cross-modal processing in grapheme-color synesthesia. *Neuroimage*, 28 : 859-868.
- Witthoft, N., & Winawer, J. (2006). Synesthetic colors determined by having colored refrigerator magnets in childhood. *Cortex*, 42 : 175-183.
- Witthoft, N., Winawer, J., & Eagleman, D. M. (2015). Prevalence of learned grapheme-color pairings in a large online sample of synesthetes. *PloS one*, 10.
- Zeki, S., Watson, J. D., Lueck, C. J., Friston, K. J., Kennard, C., & Frackowiak, R. S. (1991). A direct demonstration of functional specialization in human visual cortex. *Journal of Neuroscience*, 11 : 641-649.

SITES CONSULTÉS

Dans le but d'obtenir des précisions sur les méthodes d'apprentissage :

Admin. (s. d.). Léo et Léa, éditions Belin — Site Web de l'ONL [Document]. Consulté 19 août 2015, à l'adresse http://onl.inrp.fr/ONL/travauxthematiques/manuelsdelectureaucp/manuels-analyses/leo-lea/index_html

Breil, I. (s. d.-b). Méthode phonétique et gestuelle de Suzanne Borel-Maisonny. Consulté 20 août 2015, à l'adresse <http://www.coquelicot.asso.fr/borel/>

- Cerebro. (s. d.). Consulté 27 août 2015, à l'adresse <http://tecfa.unige.ch/tecfa/teaching/UVLibre/9900/bin19/cerveau.htm>
- Colorilire. (s. d.). Consulté 19 août 2015, à l'adresse <http://www.orthoedition.com/materiel/colorilire-471.html>
- Cuche, T., & Sommer, M. (s. d.). Les fondements théoriques de Léo et Léa. Consulté 13 août 2015, à l'adresse <http://www.leolea.org/index.php/Les-fondements-theoriques-de-Leo-et-Lea-par-Therese-Cuche-et-Michelle-Sommer.html>
- Cuisenaire, Y. (s. d.). Cuisenaire.eu,. Consulté 19 mars 2016, à l'adresse <http://www.cuisenaire.eu/fr/?page=Methode>
- La méthode Cuisenaire des nombres en couleur. (2014, décembre 8). Consulté 19 mars 2016, à l'adresse <http://apprendreaeducer.fr/methode-cuisenaire-nombres-en-couleur/>
- La planète des alphas | Méthode de Lecture Cp – Ce1. (s. d.). Consulté à l'adresse <http://www.methode-de-lecture.com/les-alphas/>
- L'imprégnation syllabique. (s. d.). Consulté 21 août 2015, à l'adresse <http://www.orthoedition.com/materiel/limpregnation-syllabique-748.html>
- Présentation de la méthode - Tout connaître sur les Alphas - Nos différentes sélections - EN SAVOIR PLUS... - Familles. (s. d.). Consulté 19 août 2015, à l'adresse http://www.lesalphas.net/familles/methode-de-lecture/nos-differentes-selections/tout-connaître-sur-les-aplhas/presentation-de-la-methode.html?__store=saisies
- Ribano, F. (s. d.). Méthode apprentissage lecture - Apprendre à lire en couleur. Consulté à l'adresse <http://facilelecture.fr/>
- *Dans le but d'obtenir des précisions et des témoignages sur la synesthésie :*
- Chouinard, M.-J. (s. d.). OMNIPSY: Lorsque les carottes goûtent le carré.... Consulté 22 novembre 2015, à l'adresse <http://www.omnipsy.info/2007/11/vol-3-no-7-novembre-2007.html>
- Day, S. A. (2011). Types of synaesthesia [Web site on synaesthesia maintained by Sean Day]. Consulté à l'adresse <http://home.comcast.net/~sean.day/html/types.html>
- Hupé, J.-M. (s. d.). synesthesies. Consulté 27 août 2015, à l'adresse <http://cerco.ups-tlse.fr/~hupe/synesthesie.html>
- Mignerot, V. (2014, octobre 16). La synesthésie pas Barnab' - Projet Synesthésie. Consulté 27 août 2015, à l'adresse <http://synestheorie.fr/2014/10/16/synesthesie-pas-barnar/#more-6300>
- Mignerot, V. (s. d.). La synesthésie - Définition. Consulté 14 juin 2015, à l'adresse <http://synestheorie.fr/synesthesie/>
- Synesthésie : la vie en couleurs. (2014, mai). Consulté 14 juin 2015, à l'adresse http://www.allodocteurs.fr/actualite-sante-synesthesie-la-vie-en-couleurs_13500.html

Liste des annexes

Liste des annexes :

Annexe n°1 : Lettre d'information à destination des parents

Annexe n°2 : Lettre d'information à destination des orthophonistes

Annexe n°3 : Formulaire de consentement

Annexe n°4 : Questionnaire

Annexe n°5 : Comparaison des données qualitatives et quantitatives pour les sujets potentiellement synesthètes

Annexe n°6 : Caractéristiques des sujets potentiellement synesthètes

Annexe n°7 : Tableau comparatif des sujets synesthètes selon les critères de l'étude de Simner et al. (2009) et selon les critères de notre étude.