



HAL
open science

La synesthésie chez l'enfant : prévalence, aspects développementaux et cognitifs

Marie-Margeride Garnier

► **To cite this version:**

Marie-Margeride Garnier. La synesthésie chez l'enfant : prévalence, aspects développementaux et cognitifs. Psychologie. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, 2016. Français. NNT : 2016TOU20004 . tel-01724729

HAL Id: tel-01724729

<https://theses.hal.science/tel-01724729>

Submitted on 6 Mar 2018

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

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



THÈSE



En vue de l'obtention du

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par : *l'Université Toulouse - Jean Jaurès*

Présentée et soutenue le *31/05/2016* par :

MARIE-MARGERIDE GARNIER

**La synesthésie chez l'enfant
Prévalence, aspects développementaux et cognitifs**

École doctorale et spécialité :

CLESCO : Psychologie

Unité de Recherche :

Unité de Recherche Interdisciplinaire Octogone (EA 4156)

Centre de Recherche Cerveau et Cognition (CerCo, UMR CNRS 5549)

Directeur(s) de Thèse :

Michèle GUIDETTI et Jean-Michel HUPÉ

Rapporteurs :

Mark PRICE et Evelyne THOMMEN

JURY

EVELYNE THOMMEN	Professeur des Universités (Lausanne, Suisse)	Rapporteur
MARK PRICE	Professeur des Universités (Bergen, Norvège)	Rapporteur
STÉPHANIE MATHEY	Professeur des Universités (Bordeaux, France)	Membre du Jury
NICOLAS ROTHEN	SNSF Ambizione Fellow (Bern, Suisse)	Membre du Jury
MICHÈLE GUIDETTI	Professeur des Universités (Toulouse, France)	Directrice de thèse
JEAN-MICHEL HUPÉ	Chargé de Recherche CNRS (Toulouse, France)	Codirecteur de thèse

Remerciements

Une thèse est certes un travail personnel important, mais c'est aussi le fruit d'une grande collaboration ; je remercie donc comme il se doit toutes les personnes qui y ont participé, de près ou de loin. Et particulièrement, merci...

...à mes directeurs :

Michèle Guidetti, pour ses encouragements et son soutien autant scientifique que technique, pour m'avoir aidée à me frayer un chemin dans les méandres administratifs et institutionnels de l'université.

Jean-Michel Hupé, pour m'avoir ouverte à de nouvelles façons d'utiliser les statistiques, et permis de mettre mes recherches en perspective, avec toutes les notions philosophiques que l'étude d'une différence inter-individuelle inspire.

... à Evelyne Thommen et Mark Price, Nicolas Rothen et Stéphanie Mathey, d'avoir accepté de lire et de juger ce long travail, dans une langue qui ne leur est pas, pour certains, familière.

... à la région Midi-Pyrénées et à la COMU d'avoir montré leur intérêt pour ce domaine de recherche en apportant leur soutien financier.

... à Monsieur le recteur, et Messieurs les inspecteurs, Mesdames et Messieurs les directeurs et enseignants et, bien sûr, tous les enfants des 47 écoles, sans qui cette étude n'aurait pas été possible.

Je remercie également...

... Elodie d'avoir accepté de faire passer mes exercices pilotes à ses élèves.

... Damien Matéo, Doug, Maxime Rosito et Séb d'avoir eu la patience de m'apprendre les bases du codage (Matlab, LaTeX, OpenSesame) et d'avoir pris le temps de continuer à répondre à toutes mes questions tout au long de ces trois ans, et ce, avec la plus grande bienveillance.

... Carmen et Joël d'avoir fait en sorte que je puisse avoir accès à mon ordinateur depuis mon domicile ; cela m'a permis d'avancer beaucoup plus efficacement.

... Charlotte, Clémentine, Maxime et Alexandre, pour m'avoir aidé à recueillir et traiter certaines de mes données, et permis d'entrevoir encore un peu plus ce que c'est qu'enseigner.

... L'équipe ECCD d'Octogone pour son accueil à chacune de mes visites, même si elles étaient peu nombreuses.

... enfin, toutes les personnes du CerCo, étudiants, doctorants, post-doctorants, chercheurs, ingénieurs, techniciens, Maroufa et Fatima, qui rendent la vie dans ce laboratoire si agréable. Merci Doug, Marina et Biao pour avoir donné à notre bureau une bonne ambiance, propice au travail. Et merci à Simon Freysinnet aussi, pour son soutien amical et alimentaire, lui aussi fait, en un sens, partie du CerCo ! je dois aussi mentionner... .. plus particulièrement Saskia et Cécile ; non contentes de me supporter au travail, vous continuez à endurer ma présence pendant vos weekends et vos jours fériés ! Merci pour votre véritable amitié ; j'espère qu'elle ne finira pas avec la thèse, j'en serais la plus grande perdante !

... mes Psychopotes ! Sans vous ma longue vie d'étudiante aurait été bien moins drôle et intéressante !

Merci à ma famille pour avoir supporté mes longs silences, et mes absences tout au long de cette thèse mais aussi de mes études. Merci papa et maman de votre soutien moral et financier qui m'a permis de satisfaire ma curiosité et mon désir toujours plus grand d'apprendre. Merci à mes grands parents de m'avoir aidée constamment de leurs connaissances diverses.

... Papet, d'être mon grand-père, mon professeur de chaque instant, mon guide, mon ami.

... Et Damien, d'accepter ma singularité... presque sans râler !

Table des matières

<i>partie I La synesthésie : définition, prévalence et hypothèses développementales</i>	1
1. <i>La synesthésie</i>	3
1.1 Définition	3
1.1.1 L'expérience synesthésique (concurrente) est-elle sensorielle?	5
1.1.2 Distinction projecteur-associateur	20
1.1.3 Caractéristiques descriptives des expériences synesthésiques	24
1.2 Prévalence : taux de synesthètes dans la population	25
1.2.1 Chez l'adulte	26
1.2.2 Chez l'enfant	33
2. <i>Trois exemples de synesthésie</i>	39
2.1 La synesthésie Graphème-Couleur	39
2.1.1 Le graphème comme inducteur	40
2.1.2 Les régularités des associations colorées	42
2.2 La synesthésie Graphème-Personnalité	43
2.2.1 Le concept de personnification	45
2.2.2 Les personnifications comme un type de synesthésie	46
2.3 La synesthésie de Forme des nombres	59
2.3.1 La Forme des nombres, une forme de synesthésie	60
2.3.2 La Forme des nombres et l'imagerie mentale	75
3. <i>Origines de la synesthésie</i>	79
3.1 Hypothèse génétique	79
3.1.1 L'hypothèse du chromosome X	79
3.1.2 Les prémices de l'étude du génome : recherche sur la filiation	81
3.1.3 Le séquençage du génome humain	83
3.1.4 L'étude des jumeaux monozygotes	84
3.2 Hypothèses neuronales et neuro-développementales	86

3.2.1	Les modèles cognitifs et hypothèses neuronales	86
3.2.2	Hypothèse néonatale	89
3.3	Hypothèse d'apprentissage	97
3.3.1	Les traces d'apprentissages dans les associations synesthésiques	99
3.3.2	Apprendre à être synesthète	103
3.3.3	Associations cross-modales et synesthésiques, étude des individus non synesthètes	107
4.	<i>Développement des connaissances liées aux types de synesthésie étudiés</i> .	109
4.1	Acquisition et connaissance des lettres	109
4.1.1	La forme des lettres	110
4.1.2	Le nom des lettres	112
4.1.3	Le son des lettres	113
4.2	Acquisition et connaissance des chiffres et représentation de la suite de nombres	115
4.2.1	Acquisition des chiffres et des nombres	116
4.2.2	Représentation des nombres dans l'espace	123
4.3	Développement de la perception des couleurs et acquisition de leur nom	126
4.3.1	La perception fait le mot	127
4.3.2	Les noms de couleurs influencent la perception	132
4.4	Acquisition du concept de personnalité	135
4.4.1	Les théories de l'esprit	136
4.4.2	Le genre	139
5.	<i>Enjeux de cette thèse</i>	145
5.1	La prévalence de différents types de synesthésie chez l'enfant	146
5.2	Evolution de la prévalence et des associations synesthésiques chez l'enfant	148
5.3	Les associations Lettre/chiffre-Couleur chez les enfants non synesthètes	149

<i>partie II Méthodes</i>	151
6. <i>Méthode des études de prévalence de la synesthésie chez l'enfant</i>	153
6.1 Participants	153
6.1.1 Participants de l'exercice 1	154
6.1.2 Participants de l'exercice 2	154
6.1.3 Participants de l'exercice 3	155
6.2 Procédure	156
6.2.1 Expérience pilote	156
6.2.2 Etude définitive	160
7. <i>Traitement des données des études de prévalence de la synesthésie chez l'enfant</i>	165
7.1 Sélection des synesthètes	165
7.1.1 Première étape : La constance des associations synesthésiques, critères statistiques et visuels	165
7.1.2 Deuxième étape : La réponse au questionnaire oral, critère phénoménologique	170
7.1.3 Troisième étape : Suppression des « stratégies »	172
7.2 Connaissance des lettres et des chiffres	185
8. <i>Méthode de l'étude des non synesthètes</i>	189
8.1 Participants	189
8.1.1 Enfants	189
8.1.2 Adultes	189
8.2 Procédure de l'expérience contrôle effectuée chez l'adulte	190
<i>partie III Résultats</i>	193
9. <i>Prévalence de la synesthésie chez l'enfant</i>	195
9.1 Synesthésie Graphème-Couleur	195
9.1.1 La constance des associations Graphème-Couleur	195
9.1.2 Le critère phénoménologique chez l'enfant et chez l'adulte, comme vérification du critère de constance	207

9.1.3	Le critère de constance chez les enfants testés deux années de suite	208
9.1.4	Prévalence de la synesthésie Graphème-Couleur	216
9.2	Synesthésie Graphème-Genre	219
9.2.1	La constance des associations Graphème-Genre	220
9.2.2	Le critère phénoménologique chez l'enfant et chez l'adulte comme moyen de vérification de notre critère de constance .	225
9.2.3	Le critère de constance chez les enfants testés deux années de suite	228
9.2.4	Le critère de constance dans l'expérience pilote, un autre moyen de tester sa validité	230
9.2.5	Prévalence de la synesthésie Graphème-Genre	231
9.3	Synesthésie Forme des nombres	234
9.3.1	La constance des associations Forme des nombres	234
9.3.2	Le critère phénoménologique chez l'enfant comme moyen de validation du critère de sélection des synesthètes par la constance	239
9.3.3	Le critère de constance chez les enfants testés deux années de suite	241
10.	<i>La synesthésie, développement et mécanismes cognitifs</i>	245
10.1	Synesthésie et apprentissage : la synesthésie selon le niveau scolaire	245
10.1.1	Prévalence de la synesthésie selon le niveau scolaire	245
10.1.2	Évolution de la constance des associations	250
10.1.3	Régularités des associations Graphème-Couleur	254
10.1.4	Capacité graphique des caractères alphanumériques	262
10.2	La latéralité et le sexe des synesthètes	269
10.2.1	Le biais de genre chez les synesthètes	269
10.2.2	Liens entre la synesthésie et la latéralité	271
11.	<i>Étude des non synesthètes</i>	273
11.1	Régularités associatives entre les lettres ou les chiffres et les couleurs	273
11.1.1	La fréquence d'utilisation des différentes couleurs	274

11.1.2 Les associations préférentielles Lettre/Chiffres-Couleurs . . .	276
11.2 Mécanismes d'association Lettre-Couleur	280
11.2.1 Ordre méthodologique et facilité d'élaboration spontanée . .	281
11.2.2 Stratégie lexicale	284
<i>12. Discussion générale et perspectives</i>	<i>289</i>
12.1 La Méthodologie et ses limites	290
12.2 Retour sur les résultats, la prévalence de la synesthésie	294
12.2.1 L'ajout d'un 2 nd critère	296
12.2.2 L'étude longitudinale	297
12.2.3 Un critère statistique plus strict	298
12.3 Retour sur les résultats, le développement de la synesthésie et son lien avec l'apprentissage	301
12.3.1 La prévalence de la synesthésie par niveau scolaire	301
12.3.2 L'évolution de la constance selon le niveau scolaire	302
12.3.3 La synesthésie et l'apprentissage : les capacités graphiques des synesthètes	304
12.3.4 Le développement de la synesthésie : régularités des associa- tions synesthésiques Graphème-Couleur	304
12.3.5 Les mécanismes associatifs graphème-couleur chez les non- synesthètes	306
12.4 Les premiers éléments de réponse concernant le développement de la synesthésie	308
12.4.1 La définition de la synesthésie	308
12.4.2 Le développement de la synesthésie	310
12.5 Perspectives : synesthésie et pédagogie	312
<i>13. Conclusion</i>	<i>315</i>
<i>Liste des résumés</i>	<i>317</i>
<i>Bibliographie</i>	<i>319</i>

Introduction

L'objectif de cette thèse est de mieux comprendre le développement de la synesthésie. La *synesthésie* est une expérience subjective décrite et étudiée depuis plus de deux siècles (Jewanski *et al.*, 2011). Pourtant, la définition de la synesthésie est toujours discutée, et ce, d'autant plus que cette particularité se décompose en plus d'une soixantaine de sous-types (Day, 2014) ; ce qui en fait un objet d'étude à la fois riche et complexe. Plusieurs recherches ont alors tenté de déterminer ses mécanismes développementaux, mais très peu ont abordé cette question en testant directement une population d'enfant.

La *première partie* de cette thèse s'attachera donc à caractériser l'expérience synesthésique. Ainsi, le *premier chapitre* revient sur la question de la nature de l'expérience synesthésique, en décrivant les différents protocoles utilisés pour y répondre : est-elle aussi sensorielle que ce que laisse penser son étymologie ? Cela permettra d'aboutir à une définition de la synesthésie sur laquelle s'appuyer pour considérer qu'une personne est synesthète. Nous verrons en effet que le nombre de synesthètes observés dépend certes de la procédure expérimentale utilisée, mais surtout du critère adopté pour catégoriser l'individu. Le *deuxième chapitre* sera l'occasion de décrire et de tester les points de définition sélectionnés sur trois types de synesthésie : Graphème-Couleur, Graphème-Personnalité et Forme des nombres. Cette base théorique permettra de comprendre, dans un *troisième chapitre*, les trois hypothèses majeures de la littérature scientifique concernant l'origine de la synesthésie : les hypothèses génétiques, neuronales et des apprentissages complexes. Ces trois hypothèses s'intéressent à la question via des points de vue différents : soit en étudiant les associations en elles-mêmes soit en s'intéressant aux origines de cette particularité dans son ensemble. De plus, toutes n'en considèrent pas les mécanismes cognitifs de la même manière : ceux-ci peuvent être spécifiques à la synesthésie ou au contraire être communs à l'ensemble de la population. Enfin, l'environnement n'a pas toujours la même importance dans le développement de la synesthésie ; c'est dans l'hypothèse des apprentissages complexes qu'il a le plus d'impact. Nous reviendrons donc dans le *quatrième chapitre* sur le développement des compétences associées aux trois types de synesthésie étudiés, à savoir, d'une

part, l'apprentissage de la lecture et de l'écriture des lettres et des nombres, et d'autre part, le développement des connaissances liées aux concepts de couleur, de personnalité et de genre.

Le *chapitre cinq* formule alors les enjeux de cette thèse : déterminer la prévalence de la synesthésie, et sa trajectoire développementale. Pour ce faire, nous étudierons :

1. l'étude de la prévalence de différents types de synesthésie chez l'enfant.
2. l'étude de l'évolution de la prévalence et des associations synesthésiques dans différentes tranches d'âge.
3. l'étude des associations lettre/chiffre-couleur chez les enfants non synesthètes.

Dans la *deuxième partie*, après avoir décrit la procédure expérimentale et présenté les participants (*chapitre 6*), nous exposerons en détail les étapes du traitement effectué sur nos données pour nous permettre de considérer un enfant comme synesthète, et de catégoriser ses compétences concernant la graphie des lettres et des nombres (*chapitre 7*). Le *chapitre 8* expose la procédure expérimentale et le traitement des données supplémentaires qui sont nécessaires à l'étude des mécanismes associatifs.

Enfin, la *troisième et dernière partie* de cette thèse est consacrée aux résultats de notre recherche, qu'il s'agisse de la prévalence de la synesthésie (*chapitre 9*), de l'analyse des associations synesthésiques, de leur constance, et plus généralement du développement des mécanismes associatifs liés à la synesthésie (*chapitre 10*), et enfin de l'examen des mécanismes associatifs à la lumière des productions des enfants non synesthètes (*chapitre 11*). Le *chapitre 12* permettra de mettre en résonance ces différentes observations et de les analyser à la lumière de la littérature scientifique exposée dans la première partie. Nous nous intéresserons plus particulièrement aux liens entre apprentissage et synesthésie. La *conclusion* nous permettra de synthétiser nos résultats et d'en tirer une hypothèse développementale de la synesthésie : cette particularité pourrait se développer en parallèle d'apprentissages complexes (comme le calcul ou la rédaction), ou en suivant le développement de la mémoire et de l'imagerie mentale.

Première partie

LA SYNESTHÉSIE : DÉFINITION, PRÉVALENCE ET
HYPOTHÈSES DÉVELOPPEMENTALES

La synesthésie

1.1 Définition

Le terme de *synesthésie*, dérive du grec *σύν* signifiant *avec* et *αίσθησις*, *sensation*. Il désigne une expérience subjective : la stimulation d'un sens induit une sensation à la fois dans cette modalité sensorielle, et dans une autre modalité ou sous-modalité du même sens. Ainsi pour une personne *synesthète*, le goût du bœuf peut être bleu foncé, l'odeur des amandes orange pâle (Day, 2005) ou encore la note de musique *La* teintée de bleu (Ginsberg, 1923). Les stimuli induisant cette sensation supplémentaire (i.e. dans nos exemples, le bœuf, l'odeur des amandes et le *La*) sont communément regroupés sous le nom de *inducteur* ; le *concurrent*¹ renvoie quant à lui aux différentes sensations additionnelles possibles (ces deux termes ont été employés pour la première fois par Grossenbacher, 1997).

Dans les trois exemples, l'expérience supplémentaire est une couleur, mais d'autres expériences synesthésiques sont possibles. En effet, il existe plusieurs formes de synesthésie caractérisées selon la diversité de ces associations inducteur-concurrent (à ce jour, une soixantaine de manifestations différentes sont répertoriées, Day, 2005, 2014; Simner, 2012a). Toutes ces associations synesthésiques ont plusieurs caractéristiques communes : elles sont conscientes, arbitraires (dans le sens où il n'y a pas de raison apparente qu'un inducteur particulier soit relié à un concurrent précis), constante dans le temps (e.g. si un synesthète associe la couleur bleu à la lettre M à un temps T, il aura tendance à associer le M au bleu 15 jours, 1 mois, 2 ans,... après). Elles sont aussi décrites comme étant idiosyncrasiques (chaque association paraît être propre au synesthète) et automatiques.

Du fait d'un grand nombre de sceptiques dans le monde scientifique, plusieurs auteurs ont tenté de démontrer la réalité de cette condition décrite verbalement en

1. Les termes *inducteur* et *concurrent* seront repris tout au long du document et rappelés page 25. la sensation supplémentaire a aussi pu être appelée l'*induit* (Flournoy, 1893).

attestant de son caractère sensoriel² (Kim *et al.*, 2006). Mais considérer la synesthésie en restant sur sa traduction littérale, et donc penser que c'est une condition strictement sensorielle, ce serait laisser de côté certaines expériences subjectives, certains types de synesthésie. Il existe peu de résultats en faveur d'une nature sensorielle de l'expérience synesthésique, tandis que beaucoup d'autres démontrent que cette expérience n'est pas comparable à une expérience perceptuelle : une stimulation extérieure n'est pas forcément nécessaire pour qu'un synesthète vive une expérience additionnelle ; la seule pensée du stimulus (ou concept) déclencheur peut suffire à provoquer l'apparition du concurrent (Dixon *et al.*, 2000). Elle peut être décrite comme un *savoir* qui n'implique pas nécessairement d'image mentale visuelle. Bien que l'étymologie de *synesthésie* suggère qu'inducteur et concurrent soient sensoriels, la plupart des auteurs utilisent une définition plus large où le caractère sensoriel de l'inducteur comme du concurrent n'est pas nécessaire.

Cette question de la nature sensorielle (ou perceptuelle) de la synesthésie est fondamentale pour toute étude cherchant à identifier les synesthètes puisque la définition utilisée conditionne les tests à effectuer. Les termes comme « perceptuel » ayant rarement été définis dans les études sur le sujet, il est important de décrire les protocoles utilisés pour caractériser (et alors identifier) les synesthètes. Cela nous permettra d'aboutir à une définition opérationnalisable de la synesthésie, pour savoir si on peut parler de *perception* synesthésique ou seulement d'*association* ou d'*expérience* synesthésique (cf. Section 1.1.3, page 24).

2. Dans la littérature scientifique, les termes *sensoriel* et *perceptuel* sont également utilisés et renvoient tous deux au même concept : le ressenti engendré par le concurrent est le même que la perception réelle de ce concurrent. Un synesthète Graphème-Couleur perçoit à la présentation d'une lettre achromatique particulière (e.g. *A*), une couleur précise (e.g. du rouge), et cette perception est la même qu'une perception « normale », la même que si cette couleur lui était réellement présentée (e.g. *A*). Dans cette thèse, ces deux mots renverront donc aussi à cet unique concept.

1.1.1 L'expérience synesthésique (concurrente) est-elle sensorielle ?

Sur la base de l'étude des synesthésies Graphème-Couleur³, plusieurs recherches comportementales influentes (s'appuyant sur différentes tâches de psychophysique) soutiennent l'hypothèse que la synesthésie est une expérience sensorielle, que les réseaux neuronaux traitant la couleur synesthésique sont impliqués à un bas niveau dans le traitement de l'information chez les synesthètes, de la même manière que pour les couleurs réelles :

1. **L'étude de cas du synesthète C.** (Smilek *et al.*, 2001), une synesthète qui associe des couleurs aux chiffres (Figure 1.1). Pour étudier l'influence des photismes⁴ sur la perception des chiffres colorés, les auteurs présentent à C., et à 7 personnes contrôles non synesthètes, des chiffres sur un fond de couleur soit similaire soit différente du photisme induit par le chiffre. Dans la première tâche, un essai est constitué du chiffre cible présenté brièvement puis d'un masque (Figure 1.1) ; la consigne est d'identifier cette cible. Dans la seconde, le participant doit localiser un des deux chiffres cibles (2 ou 4) présentés parmi 6, 12 ou 18 distracteurs⁵ (i.e. des groupes de 8 ; Figure 1.1) en pressant le plus vite possible une touche du clavier (la réponse est ensuite vérifiée en quadrillant l'écran et en demandant au participant de rappeler la case correspondant à l'emplacement de la cible). C. paraît effectivement avoir plus de difficultés à identifier (tâche 1) et localiser (tâche 2) un graphème (en noir à l'écran) dont la couleur synesthésique est la même que la couleur du fond sur lequel il est présenté (condition congruente) ; C. est plus lente que des non synesthètes et fait plus d'erreurs. Cela suggère donc que la couleur réelle du fond masque (et donc interagit avec) la couleur synesthésique. Dans

3. Dans ce document le mot graphème désignera toujours l'ensemble des formes écrites des lettres de l'alphabet et des chiffres de 0 à 9 (Cf. section 2.1.1 page 40 portant sur la synesthésie Graphème-Couleur, et la Figure 1.1 dans cette section).

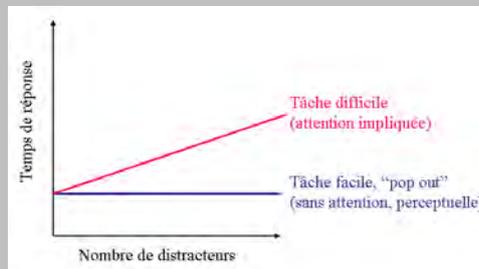
4. Le terme *photisme* est une terminologie utilisée à partir du XIX^e siècle pour désigner les couleurs synesthésiques (Ruiz et Hupé, 2015; Smilek *et al.*, 2001; Witthoft et Winawer, 2006).

5. le terme *distracteur* est employé pour désigner les objets (e.g. la lettre T) capables de détourner l'attention de l'individu d'un autre objet cible (e.g. la lettre L), ses caractéristiques étant proches de ce dernier (e.g. L et T peuvent être très ressemblant selon la police d'écriture employée).

la seconde tâche, de manière générale, le temps de réponse augmente en fonction du nombre de distracteurs, comme c'est le cas dans les études de recherche visuelle classiques (cf. Encadré page 7). Mais c'est moins le cas pour C, ce qui laisse penser aux auteurs que la couleur synesthésique aiderait à trouver la cible plus rapidement quel que soit le nombre de distracteurs (comme pour un "pop-out" généré par une couleur réelle ; cf. Encadré page 7). Pour les auteurs, ces résultats suggèrent donc que les couleurs synesthésiques influencent directement la perception des chiffres. Le fait que C. puisse avoir des performances meilleures ou moins bonnes que les contrôles en fonction de la tâche suggérerait qu'il ne s'agit pas juste d'un effet de motivation.

🔧 La recherche visuelle « parallèle » ou « sérielle »

Pour attester du caractère perceptuel de la synesthésie, et donc de son caractère pré-attentionnel, plusieurs chercheurs (Palmeri *et al.*, 2002) ont utilisé une tâche de recherche visuelle ; cette expérience psychophysique consiste à demander aux participants de détecter le plus rapidement possible une cible parmi des distracteurs (Figure 1.2). Cette tâche peut être facile (effet "pop-out", e.g. détecter un *L* rouge parmi des *L* bleus) ou difficile (e.g. trouver un *L* parmi des *T*, en fonction du niveau d'attention nécessaire pour la résoudre (Dugué, 2013; Treisman et Gelade, 1980). La couleur est un trait particulièrement saillant, et considéré dans les tâches faciles. Si la couleur synesthésique utilise les mêmes réseaux que la couleur réelle, elle devrait entraîner un effet "pop-out". La mesure la plus utilisée dans cette tâche visuelle consiste à rapporter les temps de réponse en fonction du nombre de distracteurs. Lorsque l'attention n'est pas engagée dans la tâche au préalable mais qu'elle est automatiquement dirigée sur un objet par une caractéristique particulière du stimulus (i.e. "pop-out"), la pente de la fonction est proche de 0 ; les temps de réponse lors de l'identification de la cible sont indépendants du nombre d'éléments présents à l'écran. Au contraire, si le participant engage son attention, la pente de la fonction devient positive ; les temps de réponses deviennent proportionnels aux nombres de distracteurs présentés (Dugué, 2013; Treisman et Gelade, 1980).

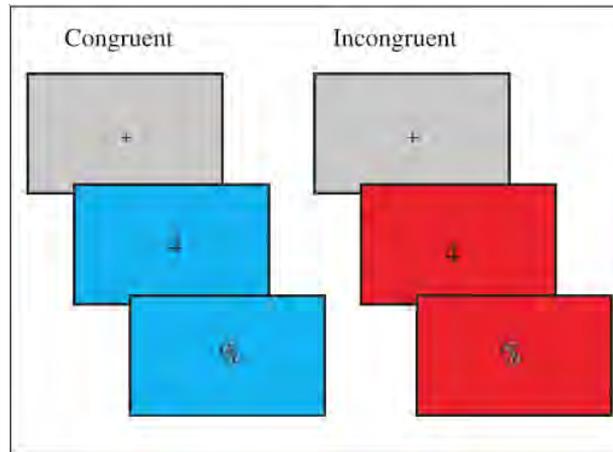


2. **L'étude de cas des synesthètes J.C. et E.R.** par Ramachandran et collaborateurs (2006; 2001a; 2001b). En décrivant les comportements de J.C. et E.R. dans différentes tâches, les auteurs affirment que l'expérience du concurrent est perceptuelle et sans attention :

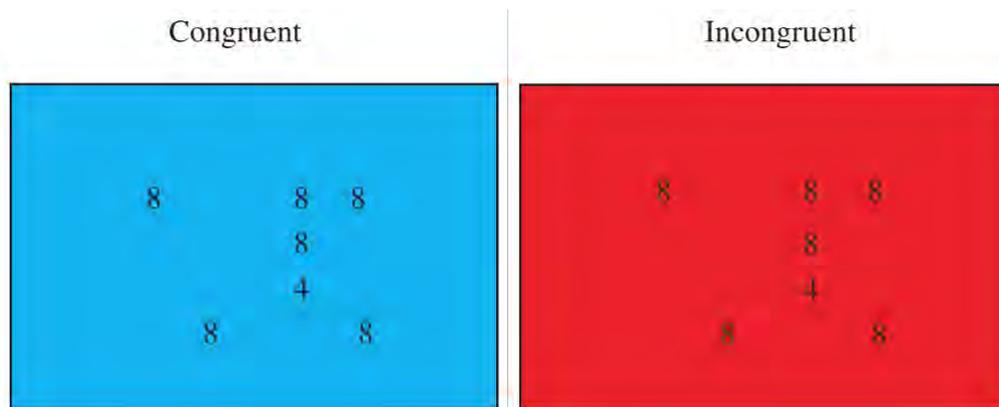
- Les synesthètes J.C. et E.R. décrivent ne plus associer leur couleur aux graphèmes (e.g. E ou 5) au-delà de 11° d'excentricité lorsque ces derniers sont déplacés graduellement d'une croix de fixation centrale à l'extrémité de l'écran de présentation. Pourtant ces graphèmes sont toujours identifiés.

Chiffres :	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
Couleurs synesthésiques :	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

(a) Associations synesthésiques



(b) Tâche 1



(c) Tâche 2

Fig. 1.1: (a) Représentation des associations synesthésiques de C. décrite par Smilek et ses collaborateurs (2001). Lors de la présentation de chiffres achromatiques, C. fait l'expérience d'une couleur particulière. (b et c) Exemples pour chaque tâche de deux essais *congruent* (à gauche de chaque illustration) et *différent* (ou "incongruent" en anglais, à droite) tirés de l'étude de Smilek et collaborateurs (2001). Les auteurs émettent l'hypothèse que si la couleur synesthésique est traitée comme la couleur réelle, alors C. identifiera moins le 4 sur fond bleu puisque couleur réelle et synesthésique se confondront (le 4 étant associé à la couleur bleu pour C.).

Ce résultat varie cependant d'un champ visuel à l'autre et selon le synesthète. D'après Ramachandran et Hubbard, le fait d'identifier le graphème sans associer le photisme habituel dans cette condition appuie fortement l'idée que ce n'est pas le concept du graphème qui induit l'expérience additionnelle.

- Les auteurs observent, chez ces deux mêmes synesthètes, un effet de groupement d'objets (tel que décrit par la théorie Gestalt) par couleurs synesthésiques plutôt que par forme comme le font les 40 personnes non synesthètes. Pour eux, il existe donc une influence du photisme sur la perception, un effet perceptuel de la couleur synesthésique.
- Les synesthètes J.C. et E.R. sont plus rapides que des individus non synesthètes à détecter des cibles parmi des distracteurs de formes très proches ; ils reconnaissent plus rapidement une forme constituée d'une même cible (e.g. un triangle fait de H) parmi des distracteurs (e.g. des P et des F). Pour ces auteurs, c'est grâce aux photismes des lettres cibles, que J.C. et E.R. sont plus rapides que les 40 personnes contrôles (i.e. 20 par synesthète).
- Le synesthète J.C. rapporte déceler une impression de mouvement horizontal lors de la présentation d'un film composé d'images de matrices de 5 et de 2 encadrées, qui changeaient de localisation (les différentes localisations étant séparées les unes des autres) d'une image à l'autre par un déplacement horizontal de chaque ligne (Ramachandran et Azoulay, 2006). Pourtant les dix autres participants contrôles non synesthètes ne voient que des mouvements aléatoires ou des clignotements. Les auteurs en déduisent que la couleur synesthésique de J.C. lui a permis de percevoir le mouvement.

L'influence du photisme sur la perception d'un graphème est une hypothèse qui paraît, selon ces deux études, tout à fait plausible. Ces résultats demandent cependant à être répliqués avec un plus grand nombre de synesthètes (Ramachandran et Azoulay, 2006). En effet, pour démontrer que la couleur synesthésique a un caractère perceptuel, il manque à ces deux études, à ces différentes tâches, des conditions contrôles permettant :

- de tester si C., J.C. et E.R. sont aussi rapides avec les couleurs synesthésiques pour ces différentes tâches de détection que lorsque cibles et distracteurs sont

réellement présentés en couleur (ces couleurs devant ici correspondre aux photismes induits par les cibles des études principales). Cette tâche contrôle permettrait une véritable comparaison entre le traitement des couleurs réelles et synesthésiques, pour savoir si le photisme a seulement un impact sur la perception du graphème associé ou s'il est réellement traité de manière perceptuelle.

- de déterminer si les différences de temps de réponses observées dans les tâches de détection et de localisation de cibles entre synesthètes et non-synesthètes ne sont pas dues à des divergences interindividuelles dans les tâches de détection visuelle ou de groupement en général, mais bien due aux couleurs synesthésiques. Si c'est le cas, les couleurs synesthésiques ne devraient pas diverger lorsque la couleur synesthésique est identique pour deux graphèmes différents (i.e. lorsque distracteurs et concurrents ont la même couleur synesthésique).

Cette expérience contrôle a été réalisée dans l'étude de Palmeri et collaborateurs (2002) : le synesthète W.O. trouve plus rapidement que les non synesthètes une cible (e.g. un 2) parmi des distracteurs (e.g. des 5) quand cible et distracteurs ont des couleurs synesthésiques différentes, alors que ses temps de réponse sont similaires (voire plus longs) que ceux des contrôles lorsque cible et distracteurs ont la même couleur (e.g. 8 et 6 sont tous deux bleus pour W.O. ; Figure 1.2 et Encadré page 7). Ce résultat montre donc bien que l'effet est spécifique à la couleur synesthésique. Mais la pente de la courbe de la recherche visuelle des couleurs synesthésiques en fonction du nombre de distracteurs n'est pas nulle, contrairement à ce qu'on observe normalement pour la couleur réelle ("pop-out") ; dans cette tâche, la couleur synesthésique n'est donc pas équivalente à une couleur réelle.

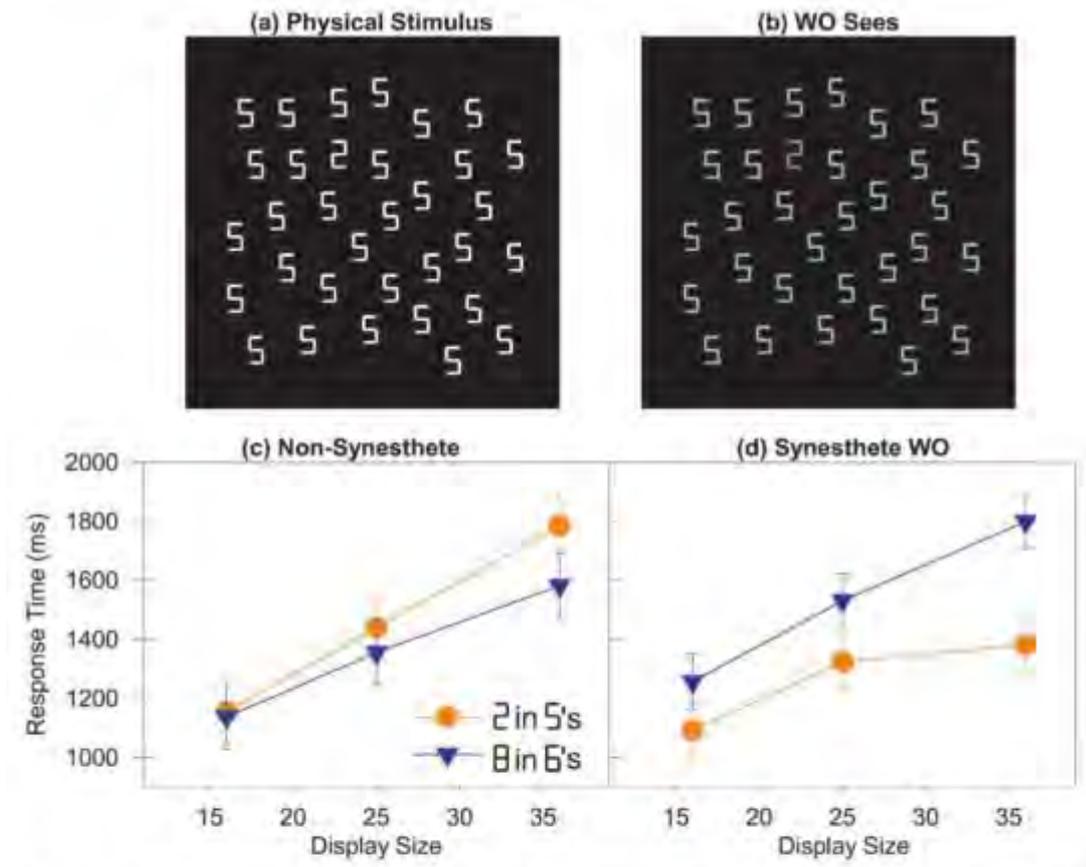
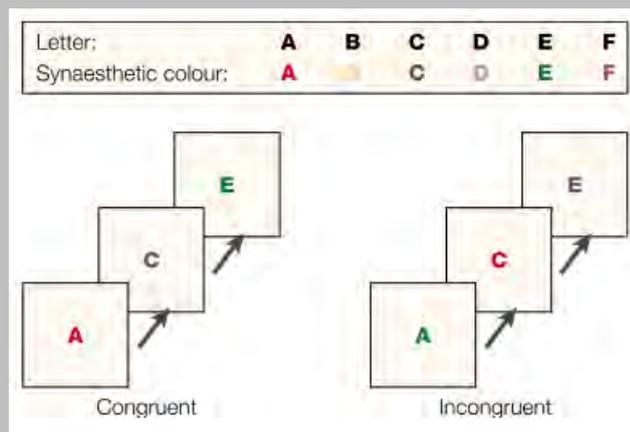


Fig. 1.2: Exemple d'une tâche de recherche visuelle utilisée pour étudier la **synesthésie** (Palmeri *et al.*, 2002). (a) Un exemple de tâche de recherche visuelle, telle qu'elle est utilisée habituellement. Cela correspond à la perception des non synesthètes. (b) Cette illustration reprend l'exemple (a); les couleurs correspondent aux associations synesthésiques de WO. (c et d) Ces graphes représentent les temps de réponses (axe des ordonnées) des non-synesthètes (c) et du synesthète WO (d) à la présentation de la cible en fonction du nombre de distracteurs (axe des abscisses). La comparaison entre les temps de réponses à la présentation de 2 parmi des 5 comparée à celle de 8 parmi des 6 permet d'étudier la différence entre les réponses de WO et celles de personnes non-synesthètes lors de la présentation de chiffres induisant pour WO un concurrent bien différent (2-orange et 5-vert) ou au contraire un concurrent similaire (6 et 8 étant tout deux bleus). Comme attendu, l'association synesthésique est facilitatrice seulement pour la paire 2-5.

🔧 La tâche de Stroop

La tâche de Stroop a été proposée par le chercheur éponyme pour démontrer l'automatisme de la lecture (Stroop, 1935). Dans la version originale de ce test, le participant doit notamment dénommer la couleur d'impression de noms de couleurs. L'auteur a mis en évidence un effet d'interférence de la lecture ; la couleur (e.g. rouge) sera dénommée plus rapidement si elle correspond au mot coloré (e.g. rouge ; condition congruente) que si elle colore un nom d'une autre couleur (e.g. orange ; condition différente ou "incongruent" en anglais). Cet effet d'interférence peut être calculé à partir des temps de réponse, du nombre d'erreurs ou en calculant la dilatation pupillaire.

Cette tâche a été reprise dans l'étude de la synesthésie, initialement pour en avoir une mesure plus objective que l'auto-déclaration (Mattingley *et al.*, 2001). Dans la condition congruente, la couleur de la lettre correspond à l'association synesthésique du participant alors qu'en condition *différente* ("incongruent" en Anglais) cette même lettre sera associée à une autre couleur. Des temps de réponses plus longs ou un taux d'erreurs plus élevé dans la condition différente ("incongruent") par rapport à la condition congruente montrent que le photisme est difficile à ignorer. C'est un effet d'interférence du « réflexe » de dénomination de la couleur synesthésique sur celle de la couleur réelle. Un index d'interférence peut être calculé (Rich et Karstoft, 2013; Ruiz et Hupé, 2015). Cette tâche de Stroop adaptée à la synesthésie (ou « Stroop synesthésique ») est le plus souvent employée pour discuter le caractère automatique de cette condition (Dixon *et al.*, 2000; Mattingley *et al.*, 2001; Mills *et al.*, 2002). L'image ci-dessous donne l'exemple de plusieurs essais *congruents* (à gauche) et *différents* ("incongruent" en Anglais, à droite) d'une tâche de Stroop synesthésique (exemple tiré de Rich et Mattingley, 2002) adaptés des associations synesthésique d'un individu(en haut).



Palmeri et ses collaborateurs (2002) argumentent en faveur du caractère perceptuel de la synesthésie en s'appuyant sur ces résultats, ceux collectés dans d'autres tâches de détection visuelle, mais aussi dans deux tâches de Stroop adaptées aux synesthésies (cf. Encadré « La tâche de Stroop » page 12). Ce même synesthète W.O., qui associe aussi des couleurs à des mots, est moins rapide, dans la première tâche de Stroop synesthésique, à dénommer la couleur de présentation du mot lorsqu'elle est différente du photisme associé (condition différente, "incongruent"), par rapport à la condition où couleurs de présentation et synesthésique sont les mêmes (condition congruente), et par rapport à celle où les cibles présentées sont des caractères non alphanumériques (W.O. ne leur associant aucune couleur ; condition contrôle). Les auteurs n'observent aucune de ces différences chez les participants non-synesthètes contrôles. Dans la seconde tâche utilisant les mêmes stimuli, W.O. devait cette fois dénommer ses couleurs synesthésiques le plus vite et le plus justement possible. La condition contrôle était constituée de mots présentés dans un gris neutre. Le synesthète se trouvait ici être plus lent pour dénommer le nom de son photisme quand la couleur de présentation du mot était différente de son expérience synesthésique que lorsqu'elle était la même ou que le mot était d'une couleur neutre.

Malgré des conditions contrôles plus poussées, cette étude ne permet pas de statuer sur le caractère perceptuel du traitement de la couleur synesthésique, comme le voudraient les auteurs, puisqu'elle ne compare pas les résultats de W.O. aux deux tâches de Stroop (i.e. une consacrée à la couleur réelle, une au photisme). De même, un seul synesthète fait l'objet de cette étude qui demande donc à être généralisée à un plus grand nombre de participants synesthètes. Pour aller plus loin dans cette réflexion, Nicolíć, Lichti et Singer (2007) ont voulu démontrer le caractère réel des couleurs synesthésiques en faisant l'hypothèse qu'elles étaient, comme de réelles couleurs, traitées sur deux voies opposées (i.e. rouge vs. vert ou bleu vs. jaune). Dans la condition *différente* ("incongruent") de cette étude, les graphèmes sont présentés soit dans une couleur opposée (i.e. sur la même voie que le photisme), soit dans une couleur différente (i.e. sur l'autre voie que celle de la couleur synesthésique ; Figure 1.3). L'effet d'interférence dans la tâche de Stroop synesthésique est plus fort quand la couleur du graphème présenté dans la condition *différente* ("incongruent") est opposée à la couleur synesthésique des six

synesthètes interrogés. Les douze participants non-synesthètes ne répondent pas différemment selon les conditions, et sont aussi rapides que les synesthètes dans la condition contrôle (constituée de caractères non alphanumériques ne déclenchant aucun photisme chez les synesthètes interrogés). Une autre tâche de Stroop est effectuée avec les mêmes participants (mais seulement quatre des six synesthètes interrogés), mais cette fois avec des associations colorées de tous les jours (i.e. citron-jaune, smiley-jaune et cœur-rouge; Figure 1.3). Les performances et temps de réponses des synesthètes et des non-synesthètes ne sont pas différents. Les réponses de l'ensemble des participants (synesthètes et non-synesthètes confondus) en condition *congruente* diffèrent là encore de celles en condition *différente*, et une différence (faible) semble exister entre les conditions *différente indépendante* et *différente opposée*.

Les résultats, comparés à ceux de l'expérience précédente pourraient éclairer le caractère réellement sensoriel du photisme si les stimuli utilisés n'étaient pas biaisés : le citron peut à la fois être jaune et vert, rendant la couleur différente ("incongruent") choisie constamment opposée à celle de l'objet de départ. Cette condition mériterait donc d'être répliquée avec des stimuli plus contrôlés et plus nombreux pour permettre à ces auteurs d'affirmer de telles hypothèses (i.e. les réseaux de couleurs sont impliqués à un bas niveau dans le traitement de l'information chez les synesthètes, de la même manière que les couleurs réelles).

En résumé, démontrer le caractère sensoriel du concurrent et plus généralement de la synesthésie permettait aux auteurs de prouver la véracité de l'expérience synesthésique et de replacer cette condition dans un modèle de traitement de l'information. Pour Ramachandran et Hubbard (2001b), concurrent et inducteur seraient regroupés précocement sur le chemin du traitement de l'information. Comme les processus impliqués dans la synesthésie ainsi que leurs bases neuronales sont encore méconnus (cf. section 3.2, page 86; Hupé et Dojat, 2015), ces études (Nikolić *et al.*, 2007; Palmeri *et al.*, 2002; Smilek *et al.*, 2001) se basent surtout sur des méthodes psychophysiques pour attester du caractère sensoriel du traitement synesthésique (Ward et Mattingley, 2006).

Les tâches visuelles décrites ci-dessus sont certes intéressantes mais ces résultats ne sont pas retrouvés à plus grande échelle, sur un échantillon plus important de synesthètes (Edquist *et al.*, 2006; Gheri *et al.*, 2008). En effet, Edquist et collabo-

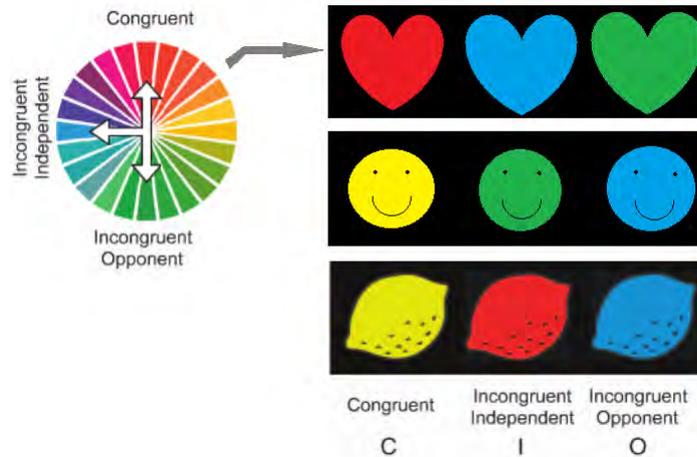


Fig. 1.3: Représentation des trois stimuli utilisés dans l'étude de Nikolić *et al.*, 2007. La couleur du stimuli en condition *congruente* (C) correspond à sa couleur la plus fréquente. En condition *différente opposée* (ou "Incongruent Opponent" en anglais; O) le stimuli est de la couleur opposée sur la roue des couleurs, alors qu'en condition *différente indépendante* ("Incongruent Independent" en anglais; I) est une couleur différente mais d'un autre réseau.

rateurs demandèrent à quatorze synesthètes et quatorze non synesthètes appariés de trouver une cible (e.g. un 2) parmi des distracteurs (e.g. des 5) de plus en plus nombreux (8, 16 puis 24 distracteurs) dans deux conditions différentes : une dans laquelle la présentation était achromatique, l'autre dans laquelle elle imitait les couleurs synesthésiques correspondantes pour chaque synesthète. Ils présentaient aux non synesthètes les éléments dans la couleur du photisme du synesthète auquel ils étaient appariés. D'après des comparaisons individuelles et de groupes, les synesthètes et les contrôles réalisent la tâche de détection visuelle aussi rapidement que celle que soit la condition. De manière générale, les synesthètes et les contrôles semblent rechercher aussi efficacement les cibles, dans la condition *achromatique* comme dans la condition *chromatique*. Les auteurs font alors l'hypothèse que la couleur synesthésique se lie à l'inducteur après la reconnaissance du graphème, par un phénomène attentionnel. Le côté bas niveau du lien inducteur-concurrent est ici remis en cause. Cette conclusion est soutenue par l'étude plus récente de Rich et Karstoft (2013) qui ne trouve pas d'effet pop-out dans une tâche de figure cible

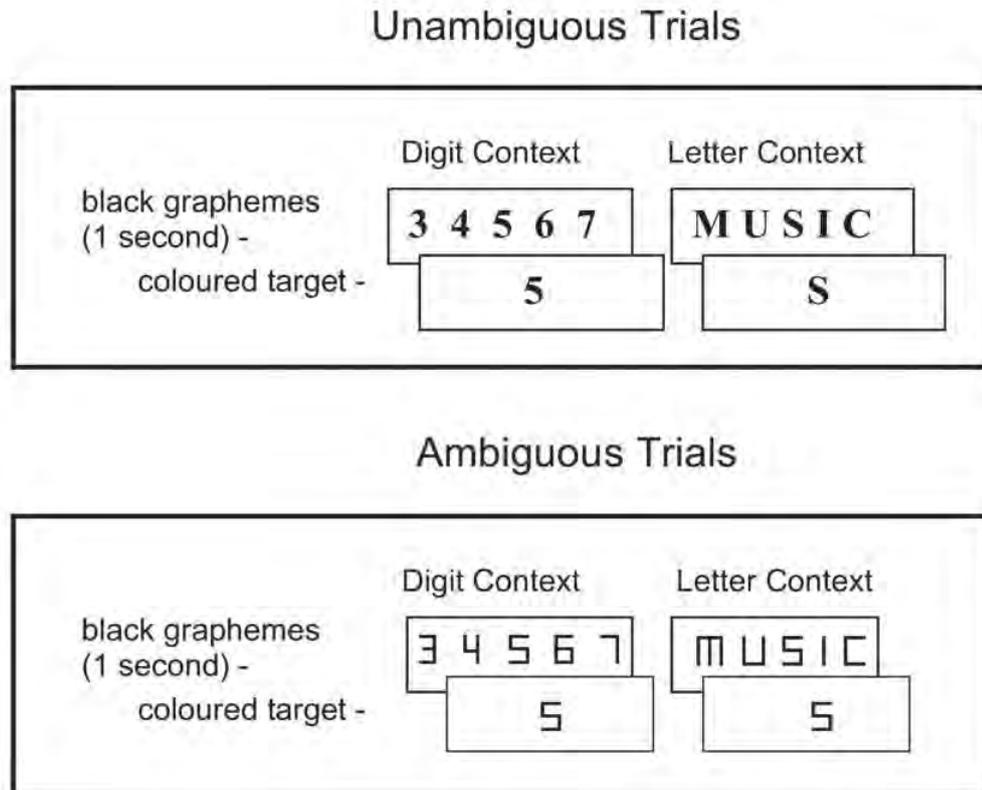
intégrée parmi des distracteurs (e.g. un triangle de B parmi des P ; tâche utilisée dans Ramachandran et Hubbard, 2001a). Gheri et ses collaborateurs (2008) ne remarquent aucune différence entre sept synesthètes Chiffre-Couleur et leurs sept contrôles appariés dans les temps de réponse à une tâche de recherche visuelle. Deux conditions étaient présentées : la condition couleur *unique* dans laquelle la cible avait une couleur synesthésique différente de tous les distracteurs, et la condition couleur *non-unique* où le photisme associé à la cible était le même que celui de certains distracteurs. Si le lien entre inducteur et concurrent était perceptuel, les synesthètes auraient dû être plus rapides que les participants contrôles dans la première condition puisque le photisme aurait induit un effet pop-out (cf. Encadré page 7). A l'inverse ils auraient dû être moins performants dans la deuxième condition, puisque le mélange de couleurs synesthésiques entre cible et distracteurs auraient compliqué la recherche visuelle, comme c'est le cas avec de réelles couleurs (cette dernière affirmation a été vérifiée par les auteurs lors d'une expérience pilote). Gheri et collègues (2008) remarquent cependant des différences entre ces deux conditions chez deux des sept synesthètes, leur permettant de penser qu'il pourrait y avoir des différences entre les synesthètes, mais cette différence existe aussi chez cinq des sept participants contrôles. Les auteurs en déduisent que la synesthésie n'est pas une condition perceptuelle mais qu'elle pourrait, au moins dans le cas de la synesthésie Graphème-Couleur, être reliée au langage, si l'absence de résultats n'est pas due à des différences de sous-groupes de synesthètes (ce point sera interrogé plus en détail dans la section 1.1.2 page 20 ; Ramachandran et Azoulay, 2006).

De plus, les interférences dans la tâche de Stroop synesthésique, tout comme celles du test d'origine, ne sont pas nécessairement dues à des processus de bas niveau (MacLeod, 1991; Mills *et al.*, 1999). Automatique ne veut pas nécessairement dire perceptuel (Palmeri *et al.*, 2002). Dixon et collègues (2000) ont décrit le cas d'une synesthète Chiffre-Couleur qui présente un effet d'interférence à la tâche de Stroop lors de la présentation de calculs mathématiques. L'entraînement de personnes non-synesthètes à cette tâche peut aussi permettre de réduire les temps de réponse sans induire de véritable synesthésie (Meier et Rothen, 2009). Elias et collaborateurs (2003) ont montré qu'une personne non-synesthète connaissant très bien ses associations chiffres-couleurs grâce à la pratique du point de croix peut présenter

les mêmes interférences qu'une personne synesthète. L'expérience synesthésique peut alors être automatique sans pour autant être perceptuelle. C'est du moins ce que nous incitent à penser les recherches s'attardant sur le caractère conceptuel de l'inducteur et qui considèrent que le concurrent est davantage induit par le concept de l'inducteur plutôt que par sa forme sensorielle (e.g. sa forme graphique ou auditive).

Le stimulus inducteur des synesthésies peut être conceptuel

Les expériences synesthésiques ont été considérées comme conceptuelles lorsque l'inducteur (et/ou parfois le concurrent ; e.g. Graphème-*Personnalité*) était un concept revêtant un caractère appris, ou du moins plus construit (Simner, 2012a). C'est le cas par exemple des associations impliquant le langage ou la musique (e.g. les synesthésies liant des couleurs à des lettres, des mots, des jours de la semaine, . . . Les trois types de synesthésie étudiés dans cette thèse peuvent alors être considérées comme conceptuelles). Dixon et ses collaborateurs (Dixon *et al.*, 2006) posent le cas du synesthète J. qui associe une couleur différente à la même forme graphique selon son environnement (Figure 1.4) pour montrer que c'est davantage le concept qui induit la synesthésie plutôt que le stimulus sensoriel (i.e. la forme graphique). L'association d'un caractère à une couleur est alors reliée à son sens ; l'association synesthésique se fait au niveau du concept. Mills et collègues (Mills *et al.*, 2002) développent cet argument en décrivant la synesthète M.L.S. qui associe notamment des couleurs aux lettres, qu'elles proviennent de l'alphabet latin ou cyrillique. D'une part elle n'a pas besoin de la présence de l'inducteur pour faire l'expérience de son concurrent (la seule pensée suffit), et d'autre part elle paraît avoir transféré les couleurs associées de son alphabet romain (appris en premier) à son alphabet cyrillique en s'appuyant sur le concept de la lettre. Dans l'alphabet romain, C et G, O et Q, E et F, I et J, P et R sont de couleurs différentes sans liens apparents malgré leur ressemblance visuelle. Il en va de même dans son alphabet cyrillique. Ce n'est pas non plus le phonème qui est responsable de la couleur associée ; deux lettres de couleurs différentes peuvent être associées au même son. De manière plus générale, des formes distinctes d'une même catégorie linguistique vont pouvoir induire la même couleur (e.g. A et a).



*Fig. 1.4: Exemples de séquences utilisées dans des contextes de chiffres et de lettres pour un graphème-cible ambigu (Dixon *et al.*, 2006). Les essais sans ambiguïté (schéma du haut) sont constitués d'essais dont la police permet de différencier les graphèmes sans se référer au contexte. A l'inverse, dans les essais ambigus (schéma du bas), seul le contexte permet de différencier un graphème d'un autre. Dans cette tâche, après la présentation d'une série de chiffres ou de lettres en noir, le participant devait dénommer le plus vite possible et avec le moins d'erreurs possibles la couleur du graphème qui restait (celui-ci s'étant coloré à la disparition des autres éléments). Si le concept est en jeu dans l'induction de la synesthésie, l'interférence entre couleur synesthésique et couleur réelle devrait différer selon le contexte de présentation, 5 et S ayant des couleurs différentes pour J. (5 et S).*

Mattingley et ses collaborateurs (2001) ont testé quinze synesthètes Graphème-Couleur et 15 contrôles avec des tâches de dénomination dans des expériences d’amorçage pour étudier le niveau de traitement auquel inducteur et concurrent sont associés. Lorsque la lettre n’est pas accessible à la conscience (du fait d’un masque et d’un temps de présentation très court ; i.e. 56 et 28 ms), il n’y a aucun effet d’interférence ou de facilitation de la couleur synesthésique sur la dénomination de la couleur cible présentée, comme c’est le cas chez les mêmes synesthètes lorsque le temps de présentation est rallongé (i.e. 500 ms) et que l’amorce est perçue consciemment. En effet, quand l’amorce est présente à l’écran pendant 500 ms, les synesthètes sont plus rapides pour dénommer la couleur cible lorsqu’elle est congruente avec le photisme et sont plus lents lorsqu’elle en est différente. Les lettres sont pourtant traitées puisque dans la tâche contrôle reprenant les mêmes amorces pendant 56 ou 28 ms mais suivies de lettres à dénommer au lieu de couleurs, il existe chez ces mêmes synesthètes un effet d’interférence ou de facilitation de l’amorce présentée (la lettre) sur la dénomination d’une lettre cible. L’auteur en conclut que le lien synesthésique entre inducteur et concurrent se fait après le premier traitement visuel de la forme de l’inducteur et que la reconnaissance de cet inducteur est cruciale.

La majorité des chercheurs dans ce domaine (Grossenbacher et Lovelace, 2001; Simner, 2012a) défendent donc l’idée que l’inducteur se lie au concurrent à un niveau conceptuel, exception faite de Ramachandran et Hubbard qui décrivent l’expérience de 3 synesthètes pour argumenter l’hypothèse inverse (i.e. le lien inducteur-concurrent se fait à un niveau sensoriel, cf. section 1.1.1 page 5; Ramachandran et Hubbard, 2001a,b, 2003).

En somme, le concept induirait un seul concurrent quelle que soit sa forme (graphique dans le cas de la synesthésie Graphème-Couleur), mais :

- la perception qu’ont les synesthètes du concurrent (e.g. la couleur) pourra dépendre de la forme prise par l’inducteur. Certains synesthètes remarquent en effet que l’association est souvent plus intense avec des minuscules que des majuscules, ou selon la police du stimulus (Ramachandran et Hubbard, 2003; Simner, 2012a; Witthoft et Winawer, 2006).
- Des lettres de formes parfois semblables pourront induire, selon les synesthètes, des couleurs différentes, mais aux nuances proches (Brang *et al.*, 2011;

Jürgens et Nikolić, 2012). Ce mécanisme serait alors lié à l'ordre d'apprentissage des graphèmes ; les nouveaux graphèmes s'associeraient à une couleur en se basant sur les associations existantes, en partant du concept et de ses différentes caractéristiques (Jürgens et Nikolić, 2012).

D'autres auteurs considèrent que les divergences dans les résultats des études sur la nature de la synesthésie (i.e. perceptuelle ou conceptuelle), et sur les différences de récits, viennent du fait qu'il existerait différentes catégories de synesthètes.

1.1.2 Distinction projecteur-associateur

La différence inter-individuelle observée dans les résultats des études sur la nature de la synesthésie n'est pas le seul trait distinguant l'expérience synesthésique d'un synesthète à l'autre. En effet, lorsqu'on interroge les synesthètes sur leur expérience synesthésique, les réponses peuvent diverger d'un individu à l'autre (Anderson et Ward, 2015; Rothen *et al.*, 2013). Le concurrent peut avoir une localisation différente dans ces descriptions, donnant alors lieu à une catégorisation des synesthètes en *projecteurs* et *associeurs* (Figure 1.5; Dixon *et al.*, 2004). La première catégorie de synesthètes indique *voir* le concurrent, le transposer dans son environnement. C'est par exemple le cas de la synesthète C. (Smilek *et al.*, 2001), qui *projette* la couleur synesthésique sur le chiffre écrit ; elle va décrire le photisme associé comme étant calqué sur ce chiffre. Le concurrent est dépeint comme étant projeté dans l'environnement, parfois sur l'inducteur. Cela ne l'empêche pas de percevoir la couleur réelle de la lettre (e.g. noir dans les dessins de la Figure 1.5). L'expérience synesthésique se différencie donc sur ce dernier point de l'hallucination. Dans le cas de la seconde catégorie, l'expérience synesthésique associée est présente en pensée, dans la tête du synesthète (e.g. le synesthète raconte voir la lettre A en bleu dans sa tête ou se représente la couleur bleue comme sur une diapositive intérieure au contact de la lettre A). D'après Dixon, Smilek et Merikle (Dixon *et al.*, 2004), les projecteurs représenteraient une minorité de synesthètes (dans leur échantillon, onze synesthètes Graphème-Couleur sur 100). Dixon et ses collaborateurs (Dixon *et al.*, 2004) justifient cette distinction associateur-projecteur non seulement en s'appuyant sur des descriptions de vécus, mais en demandant aussi à onze synesthètes Graphème-Couleur, cinq projecteurs et sept

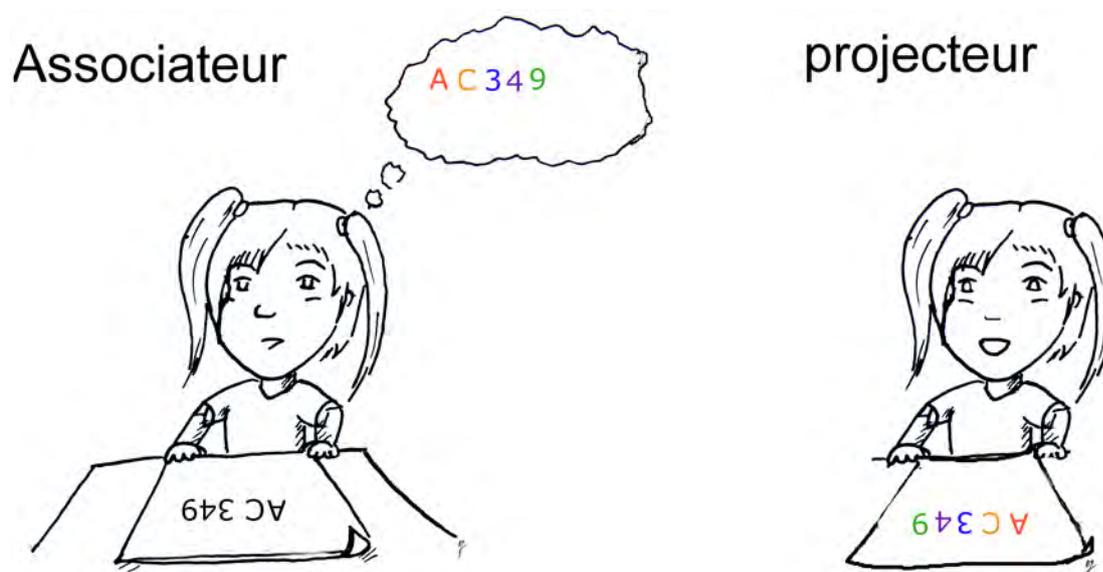


Fig. 1.5: Illustration de la différence entre **associateur** (à gauche) et **projecteur** (à droite). L'expérience additionnelle est décrite par les synesthètes comme étant présente en pensées, ou comme calquée sur le monde extérieur.

associateurs, de réaliser une tâche de Stroop synesthésique. Dans un premier temps les synesthètes devaient nommer le plus vite possible la couleur réelle du graphème présenté, puis dans une seconde session sa couleur synesthésique. De manière générale, les résultats montraient que les projecteurs (à l'inverse des associateurs) avaient un effet d'interférence plus important de leur photisme sur la dénomination des couleurs réelles du graphème cible que ne l'avaient les couleurs de présentation du graphème sur la dénomination de la couleur synesthésique. La composition de ces sous-groupes permettrait alors de résoudre le débat entre le niveau perceptuel ou conceptuel de la synesthésie ; les synesthètes associateurs lieraient inducteur et concurrent à un niveau conceptuel contrairement aux synesthètes projecteurs qui le feraient à un niveau sensoriel. Cette différence de sous-groupe est retrouvée, à un niveau théorique, sous les termes de synesthètes de *bas* et de *haut niveaux* chez Ramachandran et Hubbard (2001b) en référence à la théorie du traitement de l'information visuelle (les synesthètes de bas niveau lieraient l'inducteur à un niveau précoce du traitement de l'inducteur, ce qui correspondrait aux projecteurs ; les synesthètes de haut niveau, les associateurs, lieraient inducteur et concurrent à un

niveau plus avancé du traitement de l'information, plus conceptuel).

Ward et collaborateurs (2007) ont répliqué les résultats de l'étude de Dixon et ses collaborateurs (2004) mais en distinguant dans le groupe des projecteurs, les sept synesthètes qui décrivent projeter leur photisme sur le graphème présenté et les 2 autres qui disent le projeter à l'extérieur mais ailleurs que sur l'inducteur lui-même. Ces deux derniers participants ont été considérés avec les associateurs. Les résultats vont dans le même sens que ceux de Dixon et collègues (2004) : le premier groupe de projecteurs se comporte effectivement comme le groupe de projecteurs de l'étude originale et les associateurs ont les mêmes interférences que ceux de l'étude de Dixon et collaborateurs. Les deux synesthètes projetant leur photisme en dehors de la surface de l'inducteur agissent par contre comme les autres associateurs de l'étude alors qu'ils auraient été considérés avec les autres projecteurs dans celle de Dixon et collègues (2004). Les auteurs différencient donc projecteurs et associateurs non plus en termes d'intériorisation ou extériorisation du concurrent, mais plutôt en termes de cadre de références spatiales (sur la surface de l'inducteur ou non ; Dixon *et al.*, 2004; Mattingley, 2009; Ward *et al.*, 2007). Cette façon de catégoriser les synesthètes paraît pour les auteurs être plus facilement généralisable à d'autres types de synesthésie que la Graphème-Couleur. A un échelon plus individuel, Ward et collaborateurs (2007) remarquent cependant des divergences inter-subjectives importantes à l'intérieur même d'un sous-groupe, que ce soit à un niveau phénoménologique (i.e. la façon de décrire l'expérience synesthésique) ou au niveau des réponses comportementales (différences que l'on peut aussi observer dans l'étude originale de Dixon *et al.*, 2004 où les synesthètes associateurs A19 et A8 ont les mêmes patterns de réponses que des projecteurs).

Rich et Kastroft (2013) se sont basés sur les résultats comportementaux de l'étude de Dixon et collaborateurs (2004) pour tenter de classer objectivement en termes d'associateur ou de projecteur les huit synesthètes de leur propre étude. Les auteurs utilisèrent donc les mêmes versions de la tâche de Stroop (mis à part l'ordre des blocs qui étaient ici contrebalancés, ce qui n'était pas le cas dans l'étude originale). A un niveau individuel et au vu des patterns de réponse prédits par les résultats de Dixon et collègues (Dixon *et al.*, 2004), deux synesthètes peuvent être catégorisés comme projecteurs et un comme associateur. Cette classification est confirmée au niveau phénoménologique. Les cinq autres synesthètes ne peuvent

pas être considérés dans l'une ou l'autre des catégories à la seule vue de leurs résultats comportementaux, suggérant aux auteurs l'existence d'un continuum entre associateurs et projecteurs. Ceci pourrait expliquer les résultats :

- de deux des sept associateurs (A8 et A19) de l'étude de Dixon et ses collaborateurs (2004) qui ont le même effet d'interférence que les projecteurs. Ils mettent en effet plus de temps à dénommer la couleur réelle que la couleur synesthésique.
- de M.K.S. et E.P. (Ward *et al.*, 2007), considérés comme projecteurs d'après la définition originale de Dixon et collègues (2004) mais comme associateurs par Ward et collègues (2007) car, si le photisme est effectivement décrit comme étant projeté sur le monde extérieur, il n'est pas calqué sur le graphème auquel il est rattaché. Ces deux synesthètes étaient effectivement plus rapides pour dénommer la couleur réelle que la couleur synesthésique (résultat attendu chez les associateurs, non les projecteurs).

Cette distinction d'abord basée sur un récit subjectif, est fragilisée par le fait que certains synesthètes changent leur façon de décrire leur expérience synesthésique d'une fois sur l'autre, empêchant une catégorisation stricte dans un des deux sous-groupes (i.e. projecteurs ou associateurs; Edquist *et al.*, 2006). La distinction associateur/projecteur est donc remise en question par plusieurs auteurs (Anderson et Ward, 2015; Edquist *et al.*, 2006; Simner, 2012a). Hupé et ses collaborateurs (Hupé *et al.*, 2012; Ruiz et Hupé, 2015) préfèrent alors parler de différences interindividuelles en terme d'index (index de la force de l'expérience synesthésique ou force du photisme). Ce taux est calculé à partir de l'interférence entre les différentes conditions de la tâche de Stroop adaptée à la synesthésie. Cela permet de tenir compte des synesthètes qui ne rentraient dans aucune des deux catégories proposées. Certains décrivent en effet leurs associations synesthésiques plutôt comme un savoir, une connaissance qu'en terme de localisation (e.g. les synesthètes S.M. et J.R., pour prendre l'exemple de la synesthésie Graphème-Couleur puisque c'est sur cette synesthésie que la distinction projecteur/associateur a été posée; Ward *et al.*, 2007). Nous suivrons donc ici Simner (Simner, 2012a) en ne considérant pas la localisation spatiale du concurrent comme critère de définition de la synesthésie :

« I suggest that the criterion of spatial location be dropped now from definitions of synaesthesia, and considered instead as simply a useful

early attempt to focus research, but one that has failed to capture all manifestations of the condition on further scrutiny. »

Au vu de l'ensemble des résultats décrits ci-dessus, nous pouvons donc ajouter que, comme la localisation spatiale du concurrent, les termes « sensoriel » et « perceptuel » peuvent être exclus de la définition de la synesthésie.

1.1.3 Caractéristiques descriptives des expériences synesthésiques

D'après cette revue de la littérature scientifique, nous pouvons donc aboutir à une définition opérationnelle de la synesthésie ; nous retiendrons que l'association synesthésique est une expérience (Hupé, 2012; Simner, 2012a) :

- constante,
- consciente,
- additionnelle,
- automatique,
- arbitraire,
- idiosyncrasique.

Ces caractéristiques restent discutées et nuancées (Colizoli *et al.*, 2014; Mattingley, 2009). Les chercheurs s'appuient particulièrement sur ces six points pour recruter leurs participants et tester leur définition, ce qui induit une circularité non négligeable (Simner, 2012a). Cela est particulièrement pertinent en ce qui concerne la constance des associations synesthésiques puisque c'est l'un des critères les plus utilisés pour inclure un participant dans un protocole expérimental. Mais cette remarque est tout à fait généralisable aux autres caractéristiques indiquées ci-dessus. Le caractère automatique des associations synesthésiques est interrogé majoritairement de façon comportementale, notamment à travers la rapidité de réponse à la tâche de Stroop synesthésique. Or la rapidité de réponses peut fluctuer selon les synesthètes, comme on l'a vu dans les études sur la question de la sensorialité de la synesthésie (Dixon *et al.*, 2004; Edquist *et al.*, 2006; Mattingley, 2009). De même, l'association du concurrent à un inducteur peut être provisoirement éliminée (Ramachandran et Hubbard, 2001a ; section 1.1.1 page 5). Nous verrons par la suite la façon dont le niveau de conscience et les côtés idiosyncrasique et arbitraire

de l'expérience synesthésique sont interrogés à la lumière des études comparant synesthètes et non-synesthètes (cf. Section 3.3.3, page 107 ; Simner, 2013a).



En résumé

La synesthésie est une caractéristique subjective. Le synesthète décrit vivre une expérience supplémentaire (appelée *concurrente*) lors de la présence d'un stimulus particulier (*l'inducteur*).

Du fait de son étymologie, la synesthésie a été étudiée comme « un mélange des sens ». Mais les stimuli induisant la synesthésie sont souvent conceptuels ou sémantiques et non sensoriels. L'expérience concurrente semble très variable entre les individus, difficile à caractériser, et rarement (sinon jamais) sensorielle (dans le sens où elle serait équivalente à la perception d'un objet réel). Ainsi la distinction entre synesthètes *associeurs* et *projecteurs* ne fait pas consensus pour rendre compte de l'importance de la variabilité phénoménologique interindividuelle.

Notre définition, en accord avec la majorité des études, retiendra les caractéristiques suivantes : la synesthésie est une association additionnelle, automatique, arbitraire, idiosyncrasique, consciente et constante dans le temps. Mais nous garderons à l'esprit que ces points de définition sont discutables (et discutés) tant que les mécanismes physio-psychologiques de la synesthésie ne seront pas compris.

1.2 Prévalence : taux de synesthètes dans la population

La question de la prévalence de la synesthésie est posée pour justifier son étude et répondre à différentes interrogations, notamment celle de l'origine de cette particularité (section 3, page 79).

L'estimation du nombre de synesthètes dans la population générale dépend très largement des critères retenus pour définir l'expérience synesthésique, de la méthode employée, de l'âge des personnes interrogées et des types de synesthésies considérées.

1.2.1 Chez l'adulte

Prévalence dans la population générale et synesthésique

Le nombre d'adultes considérés comme synesthètes dans la population générale varie d'une étude à l'autre. La Figure 1.6 répertorie la prévalence de la synesthésie en général et des trois types de synesthésie étudiés dans cette thèse (Graphème-Couleur, Graphème-Personnalité et Forme des nombres⁶) selon différentes études (liste non exhaustive ; Barnett *et al.*, 2008; Baron-Cohen *et al.*, 1996; Calkins, 1893, 1895; Chun et Hupé, 2013; Day, 2005; Flournoy, 1893; Galton, 1883; Melero *et al.*, 2015; Novich *et al.*, 2011; Rich *et al.*, 2005; Rose, 1909; Sagiv *et al.*, 2006; Seron *et al.*, 1992; Simner et Carmichael, 2015; Simner et Holenstein, 2007; Simner *et al.*, 2006b)⁷. Le nombre de synesthètes est variable selon les études et la synesthésie interrogée. Cette Figure illustre bien l'hétérogénéité des résultats, que ce soit pour la prévalence de la synesthésie en général ou d'un type en particulier. Plusieurs raisons peuvent expliquer cette absence de consensus (Johnson *et al.*, 2013) :

- **le type d'associations synesthésiques pris en compte** : toutes les associations aujourd'hui considérées comme synesthésiques ne l'étaient pas à l'époque où l'expérience a été effectuée (Chun et Hupé, 2013; Johnson *et al.*, 2013; Simner *et al.*, 2006b pour revue). Selon les études, certains types de synesthésies ne sont donc pas estimés dans le taux de prévalence générale (cf. 2^e colonne du Tableau 1.1⁸ page 27). Dans les synesthésies colorées, les personnifications et les synesthésies positionnées spatialement, les associations Graphème-Couleur, Graphème-Personnalité/Genre et Forme des nombres ne

6. Un synesthète *Graphème-Couleur* associe aux caractères alphanumériques des couleurs, alors qu'un synesthète *Graphème-Genre* leur attribue des traits de personnalités ; un synesthète *Forme des nombres* organise la séquence numérique dans l'espace. Pour plus de détail sur ces trois formes de synesthésie, Sections 2.1, page 39, 2.2, page 43 et 2.3, page 59.

7. Les analyses présentes dans le livre de Flournoy (1893) se basent en bonne partie sur une étude effectuée au moyen de questionnaires par Édouard Claparède en 1892, étudiant en médecine à cette époque

8. Chaque acronyme des tableaux de ce chapitre correspond à un type de synesthésie : GC = Graphème-Couleur, SC = Séquence-Couleur (jours, mois, années), AC = Audition Colorée (note, voix, instrument), SeC = Sensations Colorées (tactile, orgasme, douleur, personnalité, humeur, émotion, goût, odeur), SNV = synesthésies non visuelles, SS = Séquence Spatiale (nombre ou concepts temporels), GP = Graphème-Personnalité/Genre, FN = Forme des nombres, GF = Forme des graphème, SoC Son-Couleur, MC = Mot-Couleur, LC = Lettre-Couleur, Exp = toucher/gout/odeur – expérience visuelle ou auditive, LG = Lexique-Couleur.

Tab. 1.1: **Résumé des études de prévalence de la synesthésie.** Les études en gris clair utilisent une méthode systématique pour compter le nombre de synesthètes dans un échantillon ; celles en gris foncé publient une demande de participation à l'étude dans des journaux ou sur internet et comparent le nombre de synesthètes auto-déclarés avec l'estimation de l'étendue du lectorat. La colonne totale répertorie le taux de prévalence de la synesthésie en général, en regroupant tous ses sous-types. Les cinq dernières études du tableau se sont concentrées sur l'étude de la prévalence de la synesthésie uniquement dans un échantillon de synesthètes afin d'en répertorier les différents types ; il n'y a donc pas de pourcentage total.

étude	Type(s) de synesthésie interrogés	nombre de sujets	Pays de l'étude	Total (%)	GC (%)	GP (%)	FN (%)
Galton (1883)	FN		Royaume-Uni et Etats-Unis				10
Flournoy (1893)	SS, AC, GC, GP	694	Suisse française	14,29	23,22		8,6
Calkins (1893)	GC, SC, FN, SS	525	Etats-Unis	15,61	6,66		12,38
Calkins (1895)		240	Etats-Unis	60,41	23,33	34,58	47,5
Rose (1909)	GC, FN, SC, SS, GF	254	Etats-Unis		9		8
Seron (1992)	Toute synesthésie avec des chiffres	194	Belgique		3,61	1,03	13,40
Baron-Cohen et al. (1996)	LC, MC, SoC, Exp	44000	Angleterre	0,05	0,04		
Baron-Cohen et al. (1996)		11000	Angleterre	0,04			
Rich et al. (2005)	GC, SC, MC, tout autre type rapporté		Australie	0,1			
Simner et al. (2006b)	Tout type connu de synesthésie	1029	Royaume-Uni	1,1	1,4		
Simner et al. (2006b)	GC	500	Ecosse	4,4	1,4		
Sagiv et al. (2006)	FN	425					24,6
Simner et al. (2006)	GP, GC	219			3,65	1,37	
Holenstein (2007)	GC, SC, FN, GP, AC,	3743	France	19	4,1	11,9	8,8
Hupé (2013)	Personne-Couleur						
Simner et al. (2015)	GC	3893	Ecosse		1,39		
Carmichael (2015)	GC, SC, AC, SeC, SNV	803	Espagne	13,95	10,7	20,5	44,6
Day (2005)	tous types de synesthésies rapportées	572	Etats-Unis		68,8		
Rich et al. (2005)	GC, SC, MC, tout autre type rapporté	192	Australie		76	3	1,5
Sagiv et al. (2006)	Synesthésie colorées, LG, FN	114	Ecosse		87,7		59
Barnett et al. (2008)	tous types de synesthésies rapportées	64	Irlande		45	3	42
Amin et al. (2011)	GP parmi les GC types de la batterie d'Eagleman	248			100	32,66	
Novich et al. (2011)	(Eagleman <i>et al.</i> , 2007)	19133			46		31

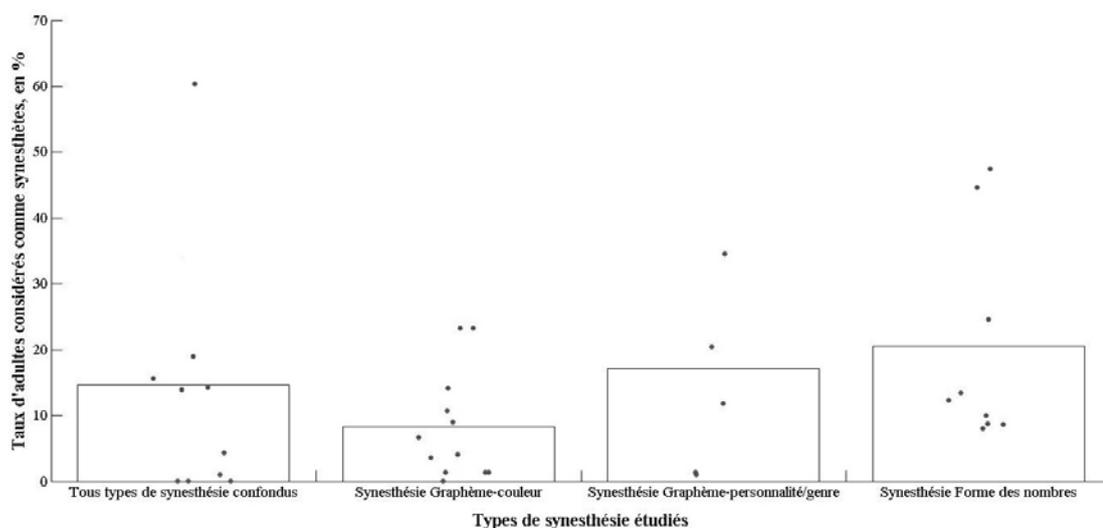


Fig. 1.6: Nombre d'adultes considérés comme étant synesthètes dans la population générale (en pourcentage), selon différentes études présentées dans le tableau 1.1 (représentées sur le graphique par les points), et la forme de synesthésie étudiée.

sont pas nécessairement considérées seules mais peuvent être comprises dans un groupe de différents sous-types de synesthésie (Tableau 1.1; e.g. la synesthésie Graphème-Couleur et les synesthésies Lexique-Couleur, cf. Baron-Cohen *et al.*, 1996; Rose, 1909; les Personnifications peuvent englober différents inducteurs, tels que les graphèmes, les jours de la semaine ou encore les mois de l'année cf. Simner et Holenstein, 2007; la synesthésie Forme des nombres et les synesthésies spatiales, cf. Calkins, 1893, 1895; Chun et Hupé, 2013; Melero *et al.*, 2015). En ce qui concerne plus particulièrement la synesthésie Graphème-Couleur, là aussi les considérations divergent (Carmichael *et al.*, 2015). Pour certaines études, les personnes qui associent à la fois les lettres et les chiffres avec les couleurs vont être considérées comme synesthètes Graphème-Couleur, quand d'autres chercheurs vont avoir une inclusion plus libérale et considérer comme tel tout individu qui colore soit des lettres soit des chiffres. Les Personnifications ne dérogent pas à la règle; elles peuvent englober différents inducteurs, que ce soit des séquences lexicales, tels que les mois, les jours ou les lettres et les chiffres, ou d'autres types d'in-

ducteurs comme par exemple des objets (Simner et Holenstein, 2007; Smilek *et al.*, 2007; cf. section 2.2, page 43). Calkins (1895) et plus généralement les études plus anciennes (Calkins, 1893; Flournoy, 1893), ont des critères d'inclusion très libéraux, ce qui pourrait expliquer les taux très élevés de synesthètes que Calkins (1895) répertorie (60,41% de synesthètes, toutes synesthésies confondues). La majorité des études de prévalence concernent soit la synesthésie dans son ensemble, soit les synesthésies colorées, mais très peu se sont intéressées aux synesthésies Forme des nombres et Graphème-Personnalité (Figure 1.6).

- **la méthode utilisée (auto-déclaration ou étude systématique)** : les auteurs ont recours à deux grandes méthodes, une méthode consistant en publication d'annonces dans des journaux, sur internet pour demander aux synesthètes de s'auto-déclarer (Baron-Cohen *et al.*, 1996; Rich *et al.*, 2005), et une méthode plus systématique consistant à interroger toutes les personnes d'un large échantillon (généralement dans des universités ou des musées en ce qui concerne les adultes ; Calkins, 1893, 1895; Chun et Hupé, 2013; Flournoy, 1893; Melero *et al.*, 2015; Sagiv *et al.*, 2006; Seron *et al.*, 1992; Simner et Holenstein, 2007; Simner *et al.*, 2006b). Cette méthode systématique reste, pour de nombreuses études, couplée à un choix subjectif des synesthètes en se basant sur les réponses à des questionnaires, sans vérifier de manière constante et automatique la réalité de la synesthésie (Calkins, 1893, 1895; Flournoy, 1893; Galton, 1883; Rose, 1909; Seron *et al.*, 1992). Cela peut entraîner une surestimation du nombre de synesthètes (Simner *et al.*, 2006b). Au contraire, certaines recherches, plus récentes, vérifient l'existence de cette particularité en associant au questionnaire phénoménologique, un test objectif fondé sur un critère de sa définition (le plus souvent c'est le critère de constance qui est retenu ; Chun et Hupé, 2013; Melero *et al.*, 2015; Simner et Holenstein, 2007; Simner *et al.*, 2006b). Ce protocole permet une estimation plus sûre mais pouvant être sous-évaluée du fait de la diversité des expériences synesthésiques et de leurs expressions (Johnson *et al.*, 2013; cf. section 1.1, page 3). Certaines études (Amin *et al.*, 2011; Barnett *et al.*, 2008; Day, 2005; Novich *et al.*, 2011; Rich *et al.*, 2005; Sagiv *et al.*, 2006) se concentrent sur des analyses de prévalence selon le type d'associations synesthésiques et n'inter-

rogent alors que des synesthètes à partir de réponses à des annonces dans le journal ou, majoritairement de nos jours, à partir de sites internet (Day, 2014; Eagleman *et al.*, 2007).

- **le critère utilisé pour considérer une personne comme étant synesthète (questionnaires phénoménologiques ou test de constance) :** selon la définition de la synesthésie choisie par l’auteur (cf. section 1.1, page 3), le moyen de considérer une personne comme étant synesthète change. La constance des associations est souvent choisie pour étudier la prévalence de la synesthésie, et plus particulièrement pour les associations Lexique-Couleur et Graphème-Personnalité (i.e. utilisation du test d’authenticité ou "test of genuineness" ; Baron-Cohen *et al.*, 1987; Chun et Hupé, 2013; Melero *et al.*, 2015; Simner et Holenstein, 2007; Simner *et al.*, 2006b). Mais ce critère demande une méthodologie contraignante puisqu’il implique un test et un « re-test » quelque temps plus tard. La majorité des études se contente donc d’un questionnaire phénoménologique, plus facile à appliquer et permettant d’interroger plusieurs types de synesthésie en même temps (notamment ceux qui ne pourraient pas être examinés autrement pour des raisons éthiques, comme par exemple les synesthésies impliquant de la douleur ; Day, 2014; Eagleman *et al.*, 2007).
- **le nombre et l’origine des participants interrogés :** l’origine des participants et leur nombre peuvent aussi être des facteurs affectant la prévalence de synesthètes (Tableau 1.1 ; étendue de l’échantillon des études répertoriées : [194 : 311000]). Les études ne sont pas toutes faites dans un pays ou sur un continent communs (États-Unis, Royaume-Uni, Australie, France, Espagne, Belgique, Suisse) même si la majorité d’entre-elles sont anglophones. Le niveau socioprofessionnel interrogé ne représente pas la globalité de la population générale (les études étant majoritairement menées dans les universités ; Chun et Hupé, 2013; Flournoy, 1893; Seron *et al.*, 1992; Simner et Holenstein, 2007; Simner *et al.*, 2006b).

Tant que les termes utilisés pour caractériser l’expérience synesthésique ne seront pas fixés, le problème de l’hétérogénéité des résultats ne pourra pas être résolu (cf. section définition ; Johnson *et al.*, 2013). La prévalence a été et est donc toujours un sujet à débat.

De manière générale, les auteurs, et plus particulièrement ceux ayant étudié les occurrences des différents types de synesthésie chez des populations de synesthètes (Barnett *et al.*, 2008; Day, 2005; Novich *et al.*, 2011; Rich *et al.*, 2005; Sagiv *et al.*, 2006), s'accordent à dire que la synesthésie Graphème-Couleur est la synesthésie la plus représentée, même si la synesthésie des *séquences visuo-spatiales* incluant la Forme des nombres est, elle aussi, très répandue (Barnett *et al.*, 2008; Melero *et al.*, 2015; Novich *et al.*, 2011; Sagiv *et al.*, 2006). La synesthésie Graphème-Personnalité est quant à elle majoritairement absente des études de prévalence (Figure 1.6 : seulement 3 études retrouvées qui calculent la prévalence de cette synesthésie : Calkins, 1895; Chun et Hupé, 2013; Melero *et al.*, 2015).

Ratio homme/femme

Une fois la question de la prévalence de la synesthésie posée, l'interrogation majeure de la littérature scientifique concernant les prévalences est celle de la répartition de cette particularité selon le genre. Le Tableau 1.2 référence les taux de prévalence homme/femme dans la population synesthésique selon différentes études. Les premières recherches sur la synesthésie et sa fréquence (Baron-Cohen *et al.*, 1996; Galton, 1883; Seron *et al.*, 1992) et les recherches centrées sur un échantillon exclusivement constitué de synesthètes (Barnett *et al.*, 2008; Day, 2005; Rich *et al.*, 2005) remarquent une différence homme/femme importante ; dans ces études, la synesthésie se retrouve de façon dominante chez les femmes. Or ces recherches s'appuient sur l'auto-déclaration des synesthètes suite à des annonces dans les journaux ou sur internet. La prévalence homme/femme y varie ostensiblement (pour 1 homme : 3 femmes dans Day, 2005, 4 dans Barnett *et al.*, 2008, 3 ou 6,3 femmes selon les études de Baron-Cohen *et al.*, 1996, 6,21 femmes dans Rich *et al.*, 2005) ; les auteurs ont émis l'hypothèse d'une dominance liée au chromosome X ou à l'existence latente de la synesthésie chez l'homme (Baron-Cohen *et al.*, 1996 ; cf. section 3.1, page 79). Mais les femmes sont connues pour être plus susceptibles de répondre aux demandes de participations aux études scientifiques que les hommes (Simner et Carmichael, 2015; Simner *et al.*, 2006b). Et en effet, dans les études utilisant une méthodologie plus systématique pour calculer la prévalence de la synesthésie, la dominance présumée des femmes sur cette condition disparaît (Chun

Tab. 1.2: Résumé de la prévalence homme/femme chez les adultes synesthètes.

Les cinq dernières lignes du tableau répertorient les études effectuées exclusivement avec un échantillon de synesthètes. Le nombre de femmes synesthètes est plus élevé lorsque les chercheurs utilisent l'auto-déclaration pour définir le nombre de synesthètes (lignes en gris foncé). Il y a autant de femmes que d'hommes synesthètes dans les études systématiques (lignes en gris clair).

étude	Type(s) de synesthésie interrogés	nombre de sujets	Pays de l'étude	Ratio homme/femme (H/F)
Galton (1883)	FN		Royaume-Uni et Etats-Unis	1H : 2F
Flournoy (1893)	SS, AC, GC, GP	694	Suisse française	1H : 1,04F
Calkins (1893)	GC, SC, FN, SS	525	Etats-Unis	
Calkins (1895)		240	Etats-Unis	
Rose (1909)	GC, FN, SC, SS, GF	254	Etats-Unis	
Seron (1992)	Toute synesthésie avec des chiffres	194	Belgique	1H : 1,06F
Baron-Cohen et al. (1996)	LC, MC, SoC, Exp	44000	Angleterre	1H : 6,3F
Baron-Cohen et al. (1996)		11000	Angleterre	1H : 3F
Rich et al. (2005)	GC, SC, MC, tout autre type rapporté		Australie	1H : 6,21F
Simner et al. (2006b)	Tout type connu de synesthésie	1029	Royaume-Uni	1H : 1F
Simner et al. (2006b)	GC	500	Ecosse	
Sagiv et al. (2006)	FN	425		
Chun et Hupé (2013)	GC, SC, FN, GP, AC, Personne-Couleur	3743	France	1H : 1F
Simner et Carmichael (2015)	GC	3893	Ecosse	1H : 1,3F
Melero et al. (2015)	GC, SC, AC, SeC, SNV	803	Espagne	1H : 1F
Day (2005)	tous types de synesthésies rapportées	572	Etats-Unis	1H : 3F
Rich et al. (2005)	GC, SC, MC, tout autre type rapporté	192	Australie	1H : 6,1F
Sagiv et al. (2006)	Synesthésie colorées, LG, FN	114	Ecosse	
Barnett et al. (2008)	tous types de synesthésies rapportées	64	Irlande	1H : 4F
Novich et al. (2011)	types de la batterie d'Eagleman (Eagleman <i>et al.</i> , 2007)	19133		

et Hupé, 2013; Melero *et al.*, 2015; Simner et Carmichael, 2015; Simner *et al.*, 2006b; Tableau 1.2). L'étude de la prévalence de la synesthésie en fonction du genre porte majoritairement sur la synesthésie Graphème-Couleur ; l'équivalence entre les ratios d'hommes et de femmes synesthètes reste donc à généraliser aux autres types de synesthésies (Simner et Carmichael, 2015).

1.2.2 Chez l'enfant

L'étude de la prévalence de la synesthésie étant fortement reliée à la question de ses origines et de son développement (Johnson *et al.*, 2013; Simner *et al.*, 2006b), il paraît logique d'étudier le nombre d'enfants possédant cette particularité. Pourtant, très peu de recherches se sont penchées sur cette question (Tableau 1.3; Flournoy, 1893; Galton, 1883; Peabody, 1915; Phillips, 1897; Simner et Bain, 2013; Simner *et al.*, 2009a, 2006b), et aucune ne s'intéresse à la prévalence de la synesthésie tous types confondus. Les types de synesthésies analysés dans ces études sont soit la synesthésie Graphème-Couleur (Simner et Bain, 2013; Simner *et al.*, 2009a, 2006b) soit la synesthésie Forme des nombres (Galton, 1883; Binet, 1892 dans Flournoy, 1893). Bien que la méthode générale d'investigation reste similaire d'une étude à l'autre (i.e. étude systématique), la procédure expérimentale et la population interrogée varient considérablement. Il n'existe aucune étude sur la prévalence des associations synesthésiques Graphème-Personnalité/Genre.

La synesthésie Forme des nombres

Les premières études chez l'enfant synesthète se sont intéressées à la synesthésie Forme des nombres⁹. Galton (1883) fit passer des questionnaires sur le thème de la visualisation à différents "College" (Winchester, Charterhouse au Royaume-Uni, Princeton et Vassar aux Etats-Unis). Les élèves étaient âgés d'environ 14-15 ans. Sur 337 réponses, dix-huit indiquent que le participant associe de manière synesthésique les nombres à une position spatiale (soit un élève sur vingt). Les établissements sondés étaient des institutions constituées exclusivement d'élèves garçons, exception faite du Vassar College (soit 26 réponses féminines dont un

9. Dans ce type de synesthésie, l'individu se représente la séquence numérique dans l'espace ; Section 2.3, page 59.

Tab. 1.3: **Résumé des études de prévalence de la synesthésie chez l'enfant.**

Toutes ont utilisé une méthode systématique pour calculer le nombre d'enfants ayant un type particulier de synesthésie (Forme des nombres, FN, ou Graphème-Couleur, GC) dans un échantillon plus ou moins grand (nombre d'enfants en 3^e colonne). Les enfants de chaque étude peuvent avoir des nationalités des âges différents (4^e et 5^e colonnes respectivement).

étude	Type(s) de synesthésie interrogé(s)	nombre d'enfants	Pays de l'étude	âge (ans)	GC (%)	FN (%)
					Intervalle de confiance à 95% : [lim.inf; lim.sup.]%	Intervalle de confiance à 95% : [lim.inf; lim.sup.]%
Galton (1883)	FN	337	Royaume-Uni et Etats-Unis	14-15		5 [3, 29; 8, 46]
Binet, 1892 dans Flournoy (1893)		300	France	10-12		3 [1, 47; 5, 81]
Phillips (1897)	FN, GF, SS	23	Etats-Unis	6-7		8,69 [1, 52; 29, 51]
Phillips (1897)	FN, GF, SS	974	Etats-Unis	10-16		8,11 [6, 51; 10, 05]
Peabody (1915)	FN, GF, SS	160	Etats-Unis	- de 15		14 [9, 52; 21]
Simner et al.(2006b)	GC	161	Royaume-Uni	7-11	1,20 [0, 21; 4, 88]	
Simner et al.(2009a)	GC	615	Écosse	6-7	1,30 [0, 61; 2, 65]	

synesthète Forme des nombres). L'auteur ne peut donc rien conclure quant à la prévalence homme-femme dans la population enfantine.

Flournoy (1893) rapporte les observations faites par Binet en 1892 dans des écoles parisiennes. 300 garçons entre 10 et 12 ans participant à des recherches sur d'autres thématiques ont pu répondre à des questions concernant « les schèmes visuels », l'association synesthésique des nombres à une position spatiale. D'après Binet, 3% d'entre eux seraient synesthètes Forme des nombres (Intervalle de confiance à 95% (I.C. de 95%) : [1,47% ; 5,81%]). Pour Flournoy (1893) ce nombre est sous évalué du fait d'une mauvaise compréhension des questions par les enfants. Patrick (1893) émet l'hypothèse que la prévalence de la synesthésie est difficile à considérer du fait qu'elle est idiosyncrasique ; comme les enfants ont peur du regard des autres sur leur particularité, ils ne dévoilent pas leur synesthésie. De plus, comme leurs nombres prennent certaines fois une forme très simple, l'auteur pense que l'enfant la considère comme banale et n'en parle pas.

Phillips (1897) a interrogé 974 enfants entre 10 et 16 ans (de différentes écoles de

Worcester). Après une courte introduction, les enfants avaient pour consigne de dessiner la façon dont ils se représentaient les nombres, les jours de la semaine ou les mois de l'année. L'auteur faisait en sorte que seuls les synesthètes dessinent une forme, sauf dans cinq classes dans lesquelles il donnait la possibilité aux élèves de recopier ou d'inventer une forme en leur présentant des dessins et en rentrant dans des explications plus approfondies. Cette expérience était d'abord effectuée en classe entière, puis chaque élève transcrivant une forme était interrogé à part, notamment pour que l'investigateur puisse observer la réaction des enfants lors des explications : un enfant synesthète montrerait, d'après Phillips, plus d'intérêt et comprendrait mieux ce que l'interrogateur explique. Les enfants alors considérés comme synesthètes étaient réinterrogés quelque temps plus tard. Les formes de ces élèves sont restées les mêmes d'une fois sur l'autre, incitant l'auteur à penser que ses critères de sélection étaient corrects. D'après cette étude, un enfant sur douze associerait les nombres à une position spatiale. Dans les cinq classes où l'imitation était possible, le nombre de formes n'était pas tout à fait aussi élevé que dans les autres classes et les dessins ne montraient aucun signe d'imitation. L'auteur donnant un niveau de prévalence générale de la synesthésie Forme des nombres pour les enfants entre 10 et 16 ans, il ne nous permet pas d'en avoir le détail par tranche d'âge et de pouvoir alors comparer le taux d'enfants synesthètes obtenus ici à celui des autres études.

Dans un intervalle d'âge plus restreint, sur vingt-trois enfants de CP (1st grade) interrogés par Phillips (1897) individuellement, deux présentaient clairement une synesthésie de Forme des nombres. Ces deux enfants donnaient avec certitude la localisation de leur nombre dans l'espace, et la répétaient de la même façon à la deuxième interrogation.

Peabody (1915) utilisa comme Galton (1883) la technique du questionnaire. Il en transmit 500 à ses collègues membres de "l'American Anthropological Association" et de "l'American Folk-Lore Society" pour que ces derniers puissent interroger les enfants de moins de quinze ans qu'ils connaissent, et environ 200 au directeur d'un lycée (Phillips Academy). Sur tous les questionnaires transmis, 160 réponses ont pu être incluses dans l'étude. Différentes séquences étaient interrogées et notamment la suite de nombres de 1 à 50. Sur les 160 retours, l'auteur considère que 23 associent les nombres à une position spatiale, soit 14% (I.C. à 95% : [9,52% ;

21%]). L'auteur note que cette proportion pourrait être sous-évaluée du fait que les enfants n'ont pas forcément les capacités pour exprimer leurs sensations. La méthode du questionnaire lui paraît entraîner différentes difficultés ; il est ardu de ne pas induire les réponses attendues, de persuader les personnes qui n'ont pas la particularité interrogée que ce n'est pas un problème et en même temps d'inciter les synesthètes à passer outre leur possible timidité à se révéler. Cependant le fait de ne considérer que les réponses et non pas l'ensemble des questionnaires envoyés entraîne un biais possible d'auto-déclaration ; les enfants les plus intéressés par la question sont aussi plus susceptibles de posséder cette particularité (Simner *et al.*, 2006b pour cette même réflexion chez l'adulte). Si les sept cents questionnaires de départ sont considérés dans le calcul de la prévalence de la synesthésie Forme des nombres, alors le taux de synesthètes tombe à 8% (I.C. de 95% : [5,89% ; 10%] ; cette méthode de passation et de calcul est aussi employée chez l'adulte par Chun et Hupé, 2013). Certes ce nombre part du postulat que tous les synesthètes ont répondu, ce qui est peu probable, mais il permet tout de même d'avoir un niveau de prévalence minimale possiblement plus proche de la réalité de cette condition. La méthodologie utilisée pour tester la prévalence de la synesthésie doit donc être réfléchie et évaluée tout autant que chez l'adulte, et même plus (du fait des difficultés d'expression que peuvent avoir les enfants du fait de leur jeune âge). Le simple recueil phénoménologique ne paraît pas suffisant pour attester de l'étendue de cette particularité dans la population enfantine.

La synesthésie Graphème-Couleur

Dans une première recherche étudiant le nombre de synesthètes dans la population générale, Simner et ses collaborateurs (2006b) ont pu interroger 161 enfants de 7 à 11 ans sur la base d'une méthode plus expérimentale. Les enfants visitaient le Musée des Sciences de Londres. Chacun a pu passer un test individuel sur un ordinateur : chaque graphème (i.e. toutes les lettres de l'alphabet et les chiffres de 0 à 9) était présenté à l'écran dans un ordre aléatoire avec une palette de 13 couleurs (noir, bleu foncé, marron, vert foncé, gris, rose, violet, orange, rouge, blanc, bleu clair, vert clair, et jaune). L'ordre des couleurs était lui aussi affiché de manière aléatoire à chaque essai. Le participant avait pour consigne de sélectionner

la meilleure couleur pour chaque graphème, en évitant de choisir plusieurs fois de suite la même. Puis ce même test était effectué une nouvelle fois, directement après, par surprise. Dans cette deuxième partie d'expérience, l'ordre de présentation des graphèmes était de nouveau randomisé. Sont considérés comme synesthètes les enfants dont le nombre d'associations similaires entre le test 1 et le test 2 est supérieur à la moyenne du groupe de 2 déviations standard. Ce seuil est calculé sur la base des scores obtenus à partir du même protocole expérimental par un groupe contrôle composé de 20 synesthètes et de 40 non synesthètes adultes d'une précédente étude. Deux enfants ont rempli ce critère, soit 1,2% de l'échantillon (I.C. de 95% : [0,21% ; 4,88%]). Ces données donnent une première idée du taux de prévalence de la synesthésie Graphème-Couleur chez l'enfant avec un test systématique et objectif (i.e. test de constance des associations), mais ne permettent pas de conclure quant aux origines de cette particularité. L'étude plus récente de Simner et ses collègues (2009a, et prolongée par Simner et Bain, 2013) interroge la prévalence de la synesthésie Graphème-Couleur chez l'enfant de manière plus approfondie. Dans cette étude (Simner *et al.*, 2009a), chaque enfant inscrit dans 21 écoles primaires du Royaume-Uni a été interrogé de manière systématique, soit un total de 650 enfants entre 6 et 7 ans (299 garçons et 316 filles). Chaque élève devait associer un à un chaque graphème (toutes les lettres de l'alphabet et les chiffres de 0 à 9) à une des 13 couleurs présentées dans un ordre aléatoire à l'écran d'un ordinateur, dans deux sessions identiques effectuées l'une après l'autre. Cette procédure expérimentale était répétée dans sa totalité un an après pour tout enfant ayant obtenu un score supérieur à la moyenne de l'échantillon total (i.e. si l'enfant avait plus d'associations similaires entre ses deux sessions que les autres). Si l'enfant continue après douze mois à être meilleur que ses pairs (dont les sessions sont séparées d'environ 10 secondes), alors il est considéré comme étant synesthète. Les auteurs estiment que 1,30% (I.C. de 95% : [0,61 ; 2,65]%) des enfants interrogés ont cette particularité. Ce niveau de prévalence peut être une sous-estimation du fait d'une méthodologie stricte basée sur l'idée que les associations synesthésiques sont par définition constantes dans le temps, alors que cette même étude montre une évolution du nombre d'associations synesthésiques avec l'âge. Simner *et al.* (2009a) avancent donc l'idée que les associations synesthésiques entre graphèmes et couleurs se développent avec l'âge (remarque confirmée par la suite dans Simner

et Bain, 2013 avec les enfants synesthètes à 10-11 ans). Mais s'il existe une évolution dans le nombre d'associations fixes, alors certains enfants synesthètes peuvent ne pas être encore assez constants pour être considérés comme tels au moment où ils sont interrogés ; c'est le cas d'une enfant qui était considérée comme ayant une bonne mémoire dans la première étude (Simner *et al.*, 2009a) et qui est considérée trois ans après comme synesthète (Simner et Bain, 2013). Les auteurs pensent que l'enfant a pu être distraite lors de sa seconde session puisque ses associations sont très similaires entre les premières sessions des trois différents tests mais complètement différentes dans la seconde session (session immédiate) lors du deuxième test, induisant les auteurs de l'étude à la considérer faussement comme une élève à forte mémoire. L'estimation de la prévalence de la synesthésie chez l'enfant est donc, comme chez l'adulte, dépendante de la méthodologie employée et des critères utilisés pour considérer une personne comme synesthète (cf. section 1.1, page 3). Simner et Bain (2013) ne réinterrogent pas les enfants sur leur vécu ; la prise de conscience de cette particularité est, selon les auteurs, trop difficile à aborder avec des enfants de moins de 15 ans. Il serait intéressant d'observer l'évolution du nombre de synesthètes à différentes tranches d'âge avec la même méthodologie pour savoir si le nombre d'enfants synesthètes augmente avec l'âge ou s'il reste constant et que ce sont les associations synesthésiques en elles-mêmes qui se développent et augmentent.



En résumé

La prévalence de la synesthésie dépend certes du type d'associations synesthésiques pris en compte, de la méthode employée pour recruter les participants, mais surtout du critère utilisé pour considérer un individu comme synesthète. Tant que les mécanismes cognitifs et développementaux n'auront pas été identifiés, il ne pourra pas y avoir de définition précise et consensuelle de la synesthésie. Chez l'enfant, le nombre d'études traitant du sujet est très restreint (cinq études avant 1915, deux études depuis 2006).

L'objectif principal de notre thèse va donc être d'étudier le taux d'enfants synesthètes, à différentes tranches d'âge, pour interroger le développement de cette particularité, en s'appuyant sur l'étude de Simner et collaborateurs (2013; 2009a). Nous allons à cet effet tenter de reproduire et d'approfondir cette recherche en interrogeant des enfants français de différentes tranches d'âge et en examinant différentes formes de synesthésie.

Trois exemples de synesthésie

Il existerait une soixantaine de types de synesthésie caractérisés par la diversité de leurs inducteurs et concurrents (Day, 2014; Simner, 2012a). Dans ce chapitre, trois exemples seront détaillés (i.e. les synesthésies Graphème-Couleur¹, Graphème-Personnalité et Forme des nombres) qui font partie des formes de synesthésie les plus répandues, et qui paraissent, du fait de leur inducteur (i.e. les lettres, les chiffres ou les nombres), être très liés à l'apprentissage de la lecture et de l'écriture (la section 5, page 145 permet de comprendre l'importance de ce dernier point dans le choix des types de synesthésie étudiés).

2.1 La synesthésie Graphème-Couleur

L'association Graphème-Couleur (Figure 2.1) est le type de synesthésie le plus étudié dans la littérature scientifique actuelle. De ce fait, notre partie définition (section 1.1.3, page 25) s'appuie largement sur des études effectuées sur cette association synesthésique particulière pour tenter de décrire ce qu'est la synesthésie en général. C'est pourquoi nous ne reviendrons pas dans le détail dans cette section

1. Dans ce chapitre et dans le reste de la thèse les expressions employées pour désigner une forme de synesthésie seront initiées par une majuscule.

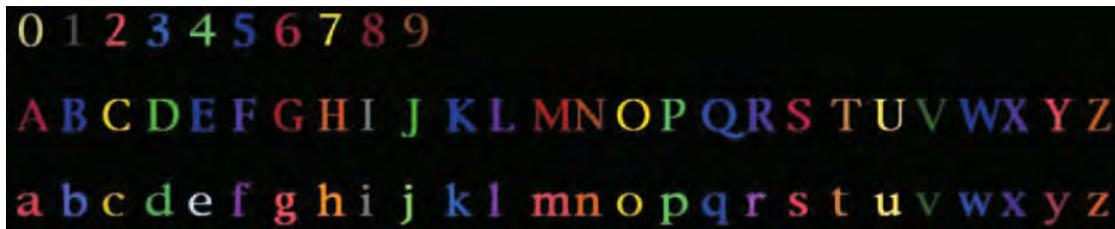


Fig. 2.1: Exemple d'illustration représentant l'alphabet coloré de la synesthète Graphème-Couleur AED (Witthoft et Winawer, 2006)

sur la réalité de l'expérience synesthésique Graphème-Couleur, comme ce sera le cas pour les deux autres types de synesthésie décrits dans cette section. Dans le chapitre précédent nous avons pu démontrer le caractère automatique de cette synesthésie en redéfinissant le concept d'automatisme dans le cadre des expériences synesthésiques : la couleur associée est automatique dans le sens où elle s'associe de manière extrêmement rapide au graphème, sans pour autant que cette couleur soit traitée de la même manière qu'une couleur réellement perçue. De même, nous avons questionné le caractère conscient de la synesthésie Graphème-Couleur de manière indirecte, en questionnant la distinction entre *projecteur* et *associeur* et en notant la différence interindividuelle qui existe dans la description que peuvent donner les synesthètes. Le niveau de constance peut par ailleurs être différent d'un synesthète à l'autre, même si dans chaque étude ce niveau semble plus proche entre synesthètes qu'entre non synesthètes (Eagleman *et al.*, 2007). Cette grande différence entre synesthètes et non synesthètes pourrait cependant être due à présence d'une circularité entre le recrutement des synesthètes et leur examen : la constance fait partie des points sur lesquels s'appuient les études pour considérer des individus comme synesthètes (Simner *et al.*, 2006b, pour un exemple, et Simner, 2012a, pour une discussion plus détaillée sur ce point).

Ici nous nous intéresserons à détailler plus particulièrement les particularités de l'inducteur et les régularités associatives observées chez les synesthètes malgré le caractère idiosyncrasique de la synesthésie.

2.1.1 Le graphème comme inducteur

Le terme *graphème* est un concept dont le sens a été et est encore aujourd'hui interrogé (Catach, 1979, cité dans Pellat, 1988). Il fait référence à plusieurs concepts et peut donc avoir plusieurs sens en fonction des relations entre les composantes phoniques (i.e. le son de parole) et graphiques (i.e. la forme de retranscription de ce son) auxquelles ces concepts se rapportent. D'après Pellat (1988), quatre concepts sont regroupés sous le terme de *graphème*. Dans l'étude de la synesthésie, les auteurs s'attachent principalement à deux de ses définitions ; le graphème comme :

1. la plus petite unité de la langue écrite (i.e. la lettre ; cette définition peut se

détacher intégralement du concept de *phonème* représentant la plus petite unité de sens de la langue orale).

2. la transcription écrite du *phonème* (elle peut alors être simple et correspondre à une lettre, ou composée et s'écrire en plusieurs lettres).

De même, dans le cas de la synesthésie (e.g. Graphème-Couleur²), le mot *graphème* peut faire référence à plusieurs conceptions selon le sujet d'étude, le chercheur ou même le synesthète interrogé. Il est souvent employé pour désigner la plus petite unité distinctive du système d'écriture d'une langue (i.e. la lettre dans les langues alphabétiques; Pellat, 1988; Simner, 2006; Simner *et al.*, 2006a). Très régulièrement, ce terme regroupe aussi d'autres caractères (presque toujours les chiffres de 0 à 9 sous leur forme numérique et parfois d'autres signes graphiques tels que les caractères de ponctuation; Cytowic, 2002b). Selon l'étude, le terme *graphème* prend un sens plus ou moins générique et peut désigner seulement les lettres ou seulement les chiffres, seulement les voyelles ou seulement les consonnes, seulement certains chiffres (Seron *et al.*, 1992) ou encore parfois seulement certains caractères (Simner *et al.*, 2006a).

Dans ce sens exclusivement graphique du terme *graphème*, les chercheurs observent une unité encore plus petite que le graphème. Ce dernier (e.g. le A) possède une infinité de formes graphiques appelées *allographes* (e.g. A, a, *a*) qui sont associées à la même couleur pour les synesthètes (mais voir le cas particulier du graphème E du synesthète S.P. décrit par Ramachandran et Hubbard, 2001b).

Plus rarement, le terme *graphème* peut se rapporter, dans le cadre de l'étude de la synesthésie Graphème-Couleur, à la retranscription écrite du *phonème*, comme l'implique la deuxième conception. Elle peut aussi englober les deux définitions pour parler de manière générique de la synesthésie, que l'inducteur soit déclenché par une forme parlée ou écrite (Simner *et al.*, 2006a).

Comme dans la majorité des études, le terme *graphème* sera employé dans cette thèse pour désigner les lettres de l'alphabet français et les chiffres de 0 à 9.

2. Dans cette section, la synesthésie Graphème-Couleur sera prise comme exemple, mais la réflexion sur cet inducteur est la même pour d'autres synesthésies, telle que la Graphème-Personnalité.

2.1.2 Les régularités des associations colorées

Le caractère idiosyncrasique des associations synesthésiques Graphème-Couleur n'empêche pas d'observer des régularités dans les associations synesthésiques à une échelle plus large, en interrogeant un grand nombre de synesthètes. Les premières études sur la synesthésie se sont attachées à répertorier ces régularités (Flournoy, 1893) sans interroger de manière constante et similaire les synesthètes. Les études actuelles, notamment grâce au développement d'internet, ont pu utiliser une méthode plus systématique pour analyser la constance des associations Graphème-Couleur à un niveau intersubjectif (Day, 2005; Rich *et al.*, 2005; Simner *et al.*, 2005). Une première loi paraît réguler les associations Voyelle-Couleur quelle que soit la langue parlée par le synesthète (d'après la revue de littérature faite par Flournoy, 1893) : *I* et *E* sont majoritairement claires, *A* et *O* moyennes et *U* sombres. Pour cet auteur, ces régularités seraient organisées en fonction de la propriété acoustique des voyelles (les voyelles *E* et *I* semblent plus aiguës que les autres). Mais pour juger de la réalité des régularités relevées, il paraît nécessaire d'augmenter la quantité des observations.

Flournoy (1893) observe plus de synesthètes coloriant les voyelles que les consonnes (46 individus sur les 296 interrogés colorent des consonnes dont tous sauf trois ont aussi des couleurs pour les voyelles, alors que 247 personnes présentant ce type de synesthésie colorent les voyelles). Parmi les personnes synesthètes Consonne-Couleur, un tiers n'associe qu'une seule et même couleur à l'ensemble de ces caractères. D'après l'auteur, elle est plus souvent foncée que claire. Quant à la fréquence des consonnes dans les associations synesthésiques, elle reste instable en fonction des études, même si les lettres *Q V J Y W* et *X* paraissent toujours être les moins présentes (Flournoy, 1893; Rich *et al.*, 2005).

Rich et ses collaborateurs (Rich *et al.*, 2005) ont remarqué que la première lettre du nom de couleur suscite l'association de cette couleur à cette lettre (e.g. B-bleu ou R-Rouge ; d'après les associations de 150 synesthètes), ce qui est retrouvé dans les études de Day (2005) et de Simner et collaborateurs (2005). Dans ces études (Day, 2005; Rich *et al.*, 2005; Simner *et al.*, 2005), d'autres associations paraissent étonnantes au premier abord : *Z* et *X*, *X*, I et O, *A*, C et *D*. Au niveau des voyelles, Flournoy (1893) observe lui aussi des associations plus nombreuses que

d'autres tels que *A* et , mais le *I* est très peu associé au blanc, contrairement aux observations des autres études. Mais ces associations pourraient être régies elles aussi par d'autres lois lexicales. Day (2005) fait l'hypothèse que des associations sémantiques pourraient permettre de comprendre ces paires plus fréquentes (e.g. *D* du fait que « chien » en anglais se dise « Dog » et que ce mot est plus fréquemment associé à la couleur *marron*). Simner et ses collaborateurs (Simner *et al.*, 2005) remarquent que les synesthètes paraissent associer les lettres les plus fréquentes avec les couleurs les plus fréquentes (e.g. *A*) et avec les couleurs apprises les premières (d'après l'ordre de Berlin et Kay, 1969).

Au niveau des associations Nombre-Couleur, les nombres les plus souvent colorés sont ceux en dessous de 12 et principalement en dessous de 10 (soit essentiellement les chiffres; Seron *et al.*, 1992). Comme pour les lettres, certains synesthètes Chiffre-Couleur n'associent des couleurs qu'à quelques chiffres (Seron *et al.*, 1992). L'observation des régularités quant à l'association des chiffres et des couleurs en tant que telles a été effectuée par peu d'auteurs (Flournoy, 1893; Rich *et al.*, 2005) et reste très succincte du fait du nombre de synesthètes interrogés. Dans les deux études, le 1 semble plus souvent être blanc ou noir et le 4 rouge.

Les différentes remarques mises en avant concernant la régularité des associations synesthésiques Graphème-Couleur restent à généraliser à un plus grand nombre de synesthètes et de nationalités (les études étant majoritairement effectuées avec des synesthètes anglophones). Aucune étude effectuée chez l'enfant n'a répertorié le type d'associations. Cela pourrait pourtant permettre de comprendre le développement des associations synesthésiques et leur fonctionnement.

2.2 La synesthésie Graphème-Personnalité

La synesthésie *Graphème³-Personnalité* (Figure 2.2) a été décrite dans un premier temps au 19^e siècle (Calkins, 1893, 1895; Flournoy, 1893; Patrick, 1893) avant de disparaître de la littérature scientifique puis de refaire surface dans les années 2000 (Simner et Holenstein, 2007; Simner et Hubbard, 2006; Smilek *et al.*, 2007).

3. Là encore le mot graphème désigne l'ensemble des formes écrites des lettres de l'alphabet et des chiffres de 0 à 9, comme c'est majoritairement le cas dans la littérature scientifique (cf. section 2.1.1 page 40 portant sur la synesthésie Graphème-Couleur).



Fig. 2.2: Illustration représentant une synesthète Graphème-Personnalité ; la lettre A est blagueuse, le C colérique, et le 4 triste.

Ces premières études, surtout descriptives et exploratoires ont permis de mettre en avant les critères régulant cette condition, ses différents *inducteurs* et *concurrents*. La synesthésie Graphème-Personnalité fait partie d'une catégorie plus large dont le nom diverge en fonction de l'objet sur lequel le chercheur met l'accent, à savoir l'inducteur ou le concurrent : Calkins (1893; 1895) et Flournoy (1893) insistent sur le caractère particulier du concurrent en considérant ce type de synesthésie sous les termes de *Dramatisation* (le drame, ici pris dans le sens classique du terme, comme étant l'art de créer des relations entre les choses, d'inventer des personnages avec leur propre caractère et façon d'être) ou de *Personnification*. Les études plus contemporaines ont d'abord employé le terme de *séquence linguistique personnifiée* (ou O.L.P.), en référence à l'écriture conventionnelle de type *inducteur-concurrent* et afin d'accentuer l'idée que les inducteurs des Personnifications sont majoritairement lexicaux et organisés en séquences ordonnées (e.g. les lettres, les chiffres, les jours de la semaine, . . . ; Simner et Holenstein, 2007), avant de convenir du terme plus générique de *Séquence-Personnalité* puisque certaines études ont observé d'autres formes d'inducteurs personnifiés (Simner *et al.*, 2011a; Smilek

et al., 2007; Sobczak-Edmans, 2013). Avant de considérer les critères permettant de considérer l'association Graphème-Personnalité comme une synesthésie, il est important de s'attarder un moment sur les éléments définissant l'inducteur.

2.2.1 Le concept de personnification

Le concept de *personnification* (ou de *personnalité*) employé dans le cadre de la synesthésie Graphème-Personnalité a fait référence à différentes caractéristiques au fur et à mesure que les recherches sur cette condition émergeaient. Dans les études de Calkins (1893; 1895), la *Dramatisation* pouvait regrouper à la fois le concept d'appréciation (l'inducteur est alors décrit comme étant apprécié ou au contraire déprécié, comme agréable ou désagréable) et des traits de personnalités plus élaborés (e.g. d'après le témoignage d'un des synesthètes interrogés par cette auteur, le chiffre 3 ne peut pas être digne de confiance, malgré son apparence plaisante et le 9 est un jeune homme grand et gracieux mais politique; Calkins, 1893, p. 454). La dichotomie agréable/désagréable serait la dramatisation la plus courante; parmi les 83 synesthètes observés, Calkins (1893) en relève 75 qui font simplement une distinction entre les graphèmes appréciés et les moins aimés, alors que 46 donnent des personnifications plus élaborées. À travers les témoignages des synesthètes L., E.C. ou encore G.G., Flournoy (1893) détaille un peu plus les traits de personnalité pouvant être associés à un graphème : L. rapporte différents traits de caractère, types de voix, sexe, âge, . . . pour chacun de ses inducteurs, et va jusqu'à définir des liens entre eux. Les personnalités attribuées peuvent alors être des qualités matérielles ou morales, des manières d'être. Dans sa thèse, Sobczak-Edmans (2013) différencie les synesthètes attribuant des genres aux graphèmes des synesthètes leur donnant des personnalités plus complexes. Elle catégorise le type de personnalité observé chez les 24 synesthètes interrogés dans sa première étude en diverses sous-catégories :

- la première regroupe les traits de personnalités, habiletés cognitives, tempérament, attitudes et états mentaux spécifiques.
- la deuxième insiste sur l'apparence humaine donnée aux graphèmes, que ce soit en termes d'âge, de taille, d'origine, de trait du visage, de couleur et de types de cheveux, de carrure ou de vêtements associés.

- la troisième et dernière sous-catégorie réunit les divers rôles sociaux (travail, études) et les liens entre les graphèmes personnifiés (attitudes qu'ils ont les uns envers les autres, hiérarchie, liens familiaux).

Cette catégorisation des différents types de personnifications fait écho à celle effectuée par Simner et Hollenstein (2007) qui synthétise les catégories observées dans la littérature scientifique précédente (à savoir le genre, l'apparence physique, l'activité professionnelle, les attributs cognitifs, les traits de personnalité au sens psychologique du terme, les relations familiales ou les réponses émotionnelles entre les différents graphèmes). D'après l'étude de cas de la synesthète A.P., les relations entre les unités (dans le cas de la synesthésie Graphème-Personnalité, entre les différentes lettres ou entre les différents chiffres) se font entre les unités d'une même séquence (e.g. entre les lettres) mais pas entre les séquences (e.g. il n'est pas observé jusqu'à ce jour de lien entre chiffres et lettres). De plus, ces liens ne se produiraient qu'entre des unités proches dans une même séquence (e.g. M et N sont sœurs, et O est le neveu de M; Calkins, 1893, p. 454). T.E., la synesthète décrite par Smilek et ses collaborateurs (2007) pourrait cependant contredire cette règle s'il s'avère qu'elle n'en est pas l'exception; elle raconte en effet par exemple que le chiffre 3, faible et jeune, tente de se rapprocher du 8 pour se sentir plus puissant. Flournoy (1893, p. 224) résume :

« La complexité de l'inducteur n'a d'égale que celle de l'induit. »

2.2.2 Les personnifications comme un type de synesthésie

Du fait de la complexité du concurrent, et de sa nature conceptuelle plutôt que sensorielle (cf. section 1.1.3 page 25) la présence de l'association Graphème-Personnalité, comme de la Forme des nombres (cf. section 2.3 page 59), parmi les différents types de synesthésie a été débattue. Les auteurs se sont donc ici encore appuyés sur les différents critères considérés comme fondamentaux dans la définition de la synesthésie pour attester du caractère synesthésique de cette association particulière.

Rappel de la section 1.1.3

L'association synesthésique, reliant un *inducteur* (ici un graphème, par exemple la lettre B) à son *concurrent* (une personnalité ou un genre, par exemple un homme grand, sec et méchant, qui ne s'entend pas avec la lettre A ; Grossenbacher, 1997), est définie par six traits caractéristiques : elle est idiosyncrasique, constante, automatique, consciente, arbitraire, et automatique (Hupé, 2012; Simner, 2012a).

La constance des associations Graphème-Personnalité

Les études contemporaines traitant de la synesthésie Graphème-Personnalité se sont attachées à démontrer objectivement le caractère synesthésique des personnifications des graphèmes, en testant principalement leur constance dans le temps (Sobczak-Edmans et Sagiv, 2013). Comme pour les autres types de synesthésie, la constance des associations Graphème-Personnalité des synesthètes potentiels est interrogée à travers une même tâche répétée sur plusieurs sessions et comparée aux réponses de participants contrôles (lors de cette même procédure). Selon les études, le nombre de participants constituant ces deux groupes, l'écart entre les différentes sessions et le nombre de sessions peut changer. Cette analyse s'est d'abord effectuée par l'intermédiaire d'études de cas :

1. Simner et Holenstein (2007), dans une première expérience, observent les réponses de la synesthète A.P. en comparaison à celles de 40 contrôles. A.P. décrit personnifier les lettres de l'alphabet, les chiffres, les jours de la semaine et les mois de l'année. Pour attester ses dires, les auteurs lui ont demandé, dans un premier temps, de noter toutes ses associations (à la fois les sexuées et les personnifiées). Les contrôles étaient séparés en deux groupes égaux et devaient associer des genres et des personnalités, soit aux chiffres et aux lettres, soit aux jours et aux mois. Ce test était de nouveau adressé par surprise aux contrôles après trois semaines, ou à la synesthète après un peu plus de 2 ans. A.P. avait alors pour consigne de rappeler ses personnifications ; les contrôles devaient se remémorer les associations effectuées à la session précédente. La synesthète s'est rappelé de 100% de ses associations, sauf pour les associations mois-personnalité où son taux de constance est plus faible (i.e. 91,7%). Celui des participants contrôles se situaient entre 12,6 et

25,8% pour les personnalités et entre 52,5 et 60,8% pour les genres.

2. Smilek et ses collaborateurs (2007) exposent le cas de la synesthète T.E. et comparent la constance de ses associations avec celles de six participants contrôles. Comme T.E. affirme personnifier aussi bien des objets quotidiens (e.g. lettres de l'alphabet, chiffres) que de nouveaux objets (des formes abstraites plus ou moins simples). Le test était composé de trois sessions :
 - une première session composée de trente-deux objets (vingt-deux connus et dix inconnus). Le participant doit décrire la personnalité de l'objet présenté, sans limite de temps. Les expérimentateurs présentaient une description de la synesthésie de personnification aux contrôles, qui devaient ensuite imiter ce comportement.
 - une tâche d'interférence était rajoutée à tous les participants pour éviter les effets de mémorisation. La consigne était alors de décrire la personnalité de vingt-deux autres objets.
 - un dernier test similaire au premier (mais dans un ordre aléatoire et avec la nécessité de choisir entre quatre descriptions présentes à l'écran) permettait de tester la consistance des associations en le comparant aux réponses données en première session.

Les sessions des participants contrôles étaient espacées d'une à deux semaines, alors que celles de la synesthète sont séparées d'une puis de douze semaines. T.E. apparait être plus constant que les contrôles (88% d'associations similaires entre le premier et le dernier test pour la synesthète, 50% pour les contrôles). Elle est plus constante pour les objets familiers que les nouveaux (91%).

Des études de groupe plus récentes généralisent et nuancent ces résultats :

1. Cinq synesthètes Graphème-Personnalité et trente contrôles ont pris part à l'expérience de Simner, Gärtner et Taylor (2011a). La procédure expérimentale était composée de deux parties, un premier test sous forme de questionnaire demandant aux participants de décrire leur expérience synesthésique (que le concurrent soit un genre ou une personnalité) ou faire correspondre une description de personnalité devant chaque lettre. La seconde session reproduisait la même procédure trois semaines (pour vingt contrôles) ou sept

mois après (pour les synesthètes). Les synesthètes devaient rappeler leurs associations synesthésiques, les contrôles les associations effectuées en première session. Les dix derniers contrôles n'ont pas été ré-interrogés mais leur réponses à la première session a servi de point de comparaison à l'analyse de la profondeur des descriptions des synesthètes. D'un point de vue phénoménologique, les synesthètes indiquent avoir déjà considéré le fait que leurs graphèmes pouvaient avoir des personnalités, avant même d'être interrogés dans le cadre de cette étude ; ils remarquent que leurs personnalités associées sont très complexes et élaborées. Leurs personnifications sont tout à fait ouvertes à l'auto-inspection. Au contraire, les contrôles ne s'étaient jamais posé la question de l'existence possible de ce type d'association. A un niveau plus objectif, comme pour la synesthésie Graphème-Couleur (Simner *et al.*, 2005), les auteurs observent que les descriptions des synesthètes sont plus élaborées que celles des contrôles. Le nombre de mots utilisés par les synesthètes pour décrire les personnalités de chaque lettre est plus important ; les auteurs en concluent que leurs personnalités sont plus complexes et détaillées. Cela peut cependant être dû à la possibilité qu'ils ont d'inspecter leurs associations, ou à leur plus grande habitude de les décrire. Pour déterminer la constance des associations des synesthètes et des participants contrôles, deux personnes (dont un externe qui ne connaissait pas le sujet de la recherche) ont codé les similitudes entre les deux sessions. Leur codage correspondait pour 97,6% des données. Les participants contrôles sont constants dans leurs réponses à 14,4% (écart type $\sigma = 8,9\%$; les résultats allant de 31% à 87%) d'une session à l'autre (séparées entre elles de seulement 3 semaines) contre 52,3% ($\sigma = 28,8\%$) pour les synesthètes (dont les sessions de test sont pourtant séparées d'un à huit ans selon les synesthètes). De façon individuelle, chaque synesthète a été au moins trois fois plus constant que le groupe contrôle. C'est tout de même moins que ce qui est rapporté dans d'autres variantes de la synesthésie (e.g., Graphème-Couleur), mais les auteurs font l'hypothèse que cette différence est due au fait que la synesthésie Graphème-Personnalité est un type de synesthésie plus complexe et de plus haut niveau cognitif (notamment au niveau de l'inducteur). Le problème est alors qu'entre les deux sessions, le synesthète peut décrire deux aspects différents de la per-

sonnalité d'une lettre. Cela passerait alors aux yeux des chercheurs comme une inconsistance alors que c'est juste deux descriptions, deux facettes différentes d'une même personnalité (cette hypothèse a été vérifiée par les auteurs lors d'une nouvelle session un an après). De plus la méthode de recueil de données et d'analyse ne peut pas être tout à fait comparée, puisque la majorité des études de constance Graphème-Couleur sont effectuées par ordinateur à partir de palette de couleur (Eagleman *et al.*, 2007). Il se pourrait que les pourcentages soient aussi étendus du fait de la différence dans la force de l'expérience synesthésique (cf. section 1.1.2, page 20). La différence entre la constance des expériences synesthésiques Graphème-Personnalité et Graphème-Couleur reste à démontrer chez les mêmes individus pour vérifier que les différences ne sont pas dues à de simples différences interindividuelles.

2. Amin et ses collègues (2011) ont étudié un groupe de onze synesthètes à la fois Graphème-Personnalité et Graphème-Couleur, comparés à onze contrôles non synesthètes afin de pouvoir comparer les niveaux de constance des synesthètes dans ces deux types de synesthésie. Les participants devaient attribuer un genre et une personnalité aux graphèmes appropriés (pour les synesthètes) ou à chaque graphème (pour les contrôles). La consigne des participants contrôles était de penser aux lettres et aux nombres comme s'ils étaient des personnes et de les décrire en fonction de leur genre et des traits de personnalité qui leur iraient le mieux. Ces derniers étaient ré-interrogés vingt-quatre heures à une semaine après pour déterminer le niveau de constance. Les réponses des synesthètes étaient comparées à celles qu'ils avaient obtenues par l'intermédiaire de questionnaires complétés quatre semaines avant. Le calcul du taux de constance des personnalités données à chaque session a été effectué par trois investigateurs différents : chacun décidait de la similitude ou de la différence des descriptions associées à chaque graphème, et si les trois examinateurs n'étaient pas d'accord, la majorité décidait. Les scores de constance des synesthètes Graphème-Personnalité se situaient entre 42 et 97% (la moyenne $\mu = 70,4\%$) pour les personnalités et entre 42 et 100% ($\mu = 70,5\%$) pour les genres. Comme l'avaient envisagé Simner, Gärtner et Taylor (2011a), les synesthètes étaient donc de manière générale moins constants pour cette synesthésie que pour la synesthésie Graphème-Couleur

($\mu = 93,7\%$ avec des résultats allant de 78 à 100%). Les auteurs le justifient en relevant le fait que les descriptions des personnalités sont plus complexes, et donc certainement moins considérées par les examinateurs comme étant similaires d'une session à l'autre. La différence de constance serait alors associée à la complexité du concurrent et non au fait que les associations Graphème-Personnalité ne soient pas synesthésiques. Cette hypothèse pourrait prendre appui sur le fait que lorsque les synesthètes associent un genre à un graphème, leurs résultats sont plus proches de ceux en Graphème-Couleur (62,5% des huit synesthètes (I.C. à 95% = [25, 9; 89, 8]%), ont un score de constance Graphème-Genre supérieur ou égal à 80%, et les trois synesthètes restant sont en dessous de 50%, avec un I.C. à 95% = [10, 2; 74, 1]%). Les participants contrôles ont des résultats très proches de ceux des synesthètes en ce qui concerne les associations entre graphèmes et genres ($\mu = 67\%$; I.C. à 95% du niveau de constance qui peut être attendu par chance pour 36 graphèmes = [33, 2; 66, 8]%) mais plus éloignés quand ils attribuent des personnalités ($\mu = 49,9\%$).

Le niveau de constance des synesthètes Graphème-Personnalité varie beaucoup d'un synesthète à l'autre, mais cette variation concernant un critère clef dans la définition de la synesthésie est retrouvée dans d'autres types de synesthésie dont le statut n'est pas remis en question (e.g. la synesthésie Graphème-Couleur). Cette variation existerait dans toutes les synesthésies mais ne serait pas souvent décrite du fait du mode de sélection des synesthètes dans les différentes études du domaine (Eagleman *et al.*, 2007; Simner, 2012a). Cette hypothèse expliquerait la grande différence entre les scores de constance des synesthètes des études de cas (Simner et Holenstein, 2007; Smilek *et al.*, 2007) et ceux des études de groupes plus larges (Amin *et al.*, 2011; Simner *et al.*, 2011a). Cette différence interindividuelle pourrait aussi être due à un changement des personnalités attribuées aux graphèmes par les synesthètes. En effet, en questionnant les synesthètes Graphème-Personnalité, Flournoy (1893) et Sobczak-Edmans (Sobczak-Edmans, 2013) remarquent que, selon les dires des synesthètes, les personnalités évolueraient avec l'âge. Flournoy (1893) appuie cette hypothèse par la description de la synesthète L. qui considère que sa synesthésie s'est développée et complexifiée avec l'âge. En effet, 26% des synesthètes auraient observé que les personnalités des graphèmes se sont complexi-

fiées et ont évolué avec le temps. De même, certains décrivent des changements dans leur personnification en fonction de leur propre état d'esprit (stress, humeurs ; Amin *et al.*, 2011) ou encore de la typographie du graphème (Calkins, 1893).

Les Personnifications sont automatiques et involontaires

Avec la constance, l'automaticité de la personnification est le critère le plus utilisé pour attester de la synesthésie des associations Séquence-Personnalité et plus particulièrement des Graphème-Personnalité (Sobczak-Edmans et Sagiv, 2013). Comme pour les autres types de synesthésie, après avoir attesté de la constance des associations Graphème-Personnalité, les chercheurs se sont ensuite attachés, dans des études plus récentes (i.e. XXI^e siècle), à démontrer leur caractère involontaire en observant les mouvements oculaires d'une synesthète Graphème-Personnalité lors de la présentation des graphèmes aimés ou dépréciés (Smilek *et al.*, 2007), et en adaptant des tâches de Navon (Navon, 1977; Sobczak-Edmans, 2013; Sobczak-Edmans et Sagiv, 2013) et de Stroop (Stroop, 1935) adaptées à la synesthésie (cf. 1.1.1, page 12; Amin *et al.*, 2011; Simner et Holenstein, 2007).

Smilek et ses collaborateurs (Smilek *et al.*, 2007) ont observé les mouvements oculaires de six participants contrôles et de la synesthète T.E. à la présentation de dix-huit items (douze lettres, six chiffres ; neuf positifs et neuf négatifs) à un endroit aléatoire dans une grille imaginaire de 6 x 6, afin de tester l'impact de la synesthésie (et plus particulièrement de la valence émotionnelle des personnalités associées aux graphèmes) sur l'attention visuelle. Le participant devait appuyer sur un bouton dès qu'il pensait avoir vu toutes les informations présentes à l'écran. Les auteurs remarquent que les temps de réponses de la synesthète varient plus que ceux des participants contrôles ; elle regarde plus longuement certains items par rapport à d'autres, et d'après ses observations, cela serait dû au fait que certains agencements dans les personnalités seraient plus inhabituels et par là-même plus intéressants. D'après l'analyse du mouvement des yeux, elle fixerait moins de fois les objets ressentis comme négatifs que positifs, alors que les contrôles fixent tous les objets à la même fréquence. Il paraît plus difficile pour elle de désengager son attention des items négatifs que des positifs. Les auteurs en concluent que les associations synesthésiques ont un impact systématique sur le comportement

du synesthète (impact sur le mouvement des yeux, le temps de fixation) et par là-même sur l'allocation de l'attention visuelle).

La tâche de Navon (Navon, 1977) interroge plus particulièrement le processus d'analyse de la structure d'une scène visuelle ; les mécanismes de représentation d'une forme dans sa globalité sont en interaction avec ceux de ses traits locaux. Comme pour la synesthésie Graphème-Couleur (Blake *et al.*, 2005; Palmeri *et al.*, 2002; Robertson et Sagiv, 2004), certains auteurs utilisent cette tâche pour attester du caractère automatique et involontaire de la synesthésie Graphème-Personnalité. Dans la tâche de Navon adaptée à la synesthésie, les essais sont composés de figures, faites d'un même graphème présent plusieurs fois au niveau local (e.g. des 2), figures qui constituent une seule forme d'un autre graphème au niveau global (e.g. un 5 ; Figure 2.3 pour un exemple dans le cadre de la synesthésie Graphème-Couleur ; Palmeri *et al.*, 2002). Pour le synesthète Graphème-Personnalité, dans la condition congruente, le graphème local est associé au même genre que le graphème global. Inversement, dans la condition non congruente, les graphèmes des traits locaux et de la forme globale n'induisent pas le même genre synesthésique. Ainsi, si un effet de congruence est observé (i.e. des temps de réponses plus courts en condition congruente qu'en condition différente), l'association Graphème-Genre (plus généralement Graphème-Personnalité), sera considérée comme involontaire et automatique. Dans les études de Sagiv et collaborateurs (Sagiv *et al.*, 2006 et Amin, 2005 cités dans Sobczak-Edmans, 2013; Sobczak-Edmans et Sagiv, 2013), les participants devaient déterminer le genre de chaque figure globale. Les auteurs ont observé qu'il était difficile pour les synesthètes d'ignorer le genre des traits locaux dans la condition différente. Dans la tâche de Stroop adaptée à la synesthésie Graphème-Personnalité, le genre synesthésique est soit similaire à celui de la cible (condition congruente) soit l'inverse (condition différente ; Amin *et al.*, 2011; Simner et Holenstein, 2007; Sobczak-Edmans et Sagiv, 2013). Comme pour la synesthésie Graphème-Couleur, il est attendu que le synesthète soit plus performant, ait des temps de réponse plus courts, dans la condition congruente que dans la condition différente, et qu'il soit plus rapide que les non synesthètes en condition congruente (Dixon *et al.*, 2000; Mattingley *et al.*, 2001; Mills *et al.*, 2002; Smilek *et al.*, 2001). Après avoir déterminé le caractère généralisable des genres des lettres à l'ensemble du mot dans une première étude, Simner et Holenstein (2007)

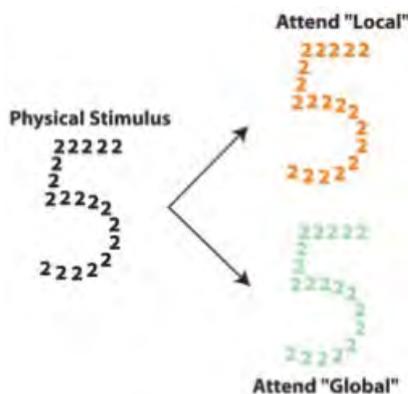


Fig. 2.3: Schéma donnant un exemple de différence perçue en basculant de la forme globale à la forme locale pour le synesthète Chiffre-couleur W.O. (Palmeri *et al.*, 2002). En effet, à la présentation de la figure de gauche, W.O. raconte percevoir involontairement et automatiquement la couleur orange quand il s'intéresse aux traits locaux (i.e. les 2) et verte quand il fait attention à la forme globale (i.e. au 5 ; ces associations correspondent à ses associations synesthésiques).

ont interrogé l'influence de l'initiale des prénoms sur leur genre sémantique. Les auteurs ont alors demandé à la synesthète A.P. de fixer une croix pendant 1500 ms, puis de déterminer le sexe de l'un des 188 prénoms remplaçant la croix à l'écran de manière aléatoire (94 prénoms par genre, dont 47 par condition ; leur genre n'était jamais ambigu, aucun prénom mixte n'était présenté, et les fréquences lexicales, fréquences syllabiques, nombres de syllabes et de lettres étaient contrôlés entre les conditions et sous-conditions). Le prénom restait affiché à l'écran jusqu'à la réponse du participant. Conformément aux hypothèses énoncées ci-dessus, les auteurs observent un effet du genre synesthésique du prénom et aucun effet du genre de la cible en tant que telle, ni d'effet d'interaction. La personnification de la lettre initiale du prénom paraît donc influencer son véritable genre sémantique. Ce résultat mériterait d'être répliqué à un plus large groupe de synesthètes, vérifié pour les lettres seules et comparé aux résultats d'un groupe contrôle de non synesthètes pour le vérifier. C'est ce que font Amin et ses collaborateurs (2011) en réitérant les résultats de Simner et Hohenstein (2007), avec cinq synesthètes Graphème-genre et deux groupes de 5 et 8 contrôles, dans une tâche d'amorçage proche d'une tâche de Stroop où le participant doit décider le plus vite possible

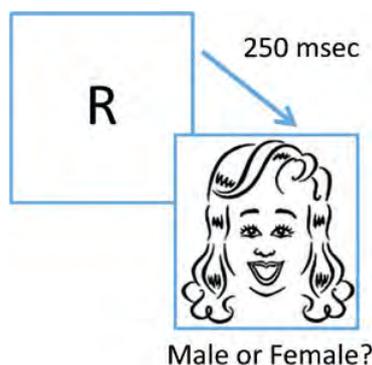


Fig. 2.4: Représentation schématique d'un essai dans la tâche d'indigage mise en place par Amin *et al.* (2011).

si la lettre cible présentée est féminine ou masculine (Figure 2.4). Dans le premier groupe, chaque contrôle était assigné à un synesthète et devait observer les mêmes stimuli (i.e. pour constituer les amorces vues par ce groupe et les synesthètes, les expérimentateurs ont choisi les deux lettres les plus féminines et les deux les plus masculines par synesthète, à partir de leur réponse à un questionnaire). Dans le second groupe, chaque contrôle choisissait les deux graphèmes les plus susceptibles d'être masculins et les deux les plus féminins. L'expérience était composée de 96 essais. Dans chacun d'eux, après qu'une croix ait été présentée au centre de l'écran pendant 400 ms, une lettre (i.e. l'amorce ; une des 4 lettres présentées, dont deux considérées comme féminines deux masculines par les synesthètes) apparaissait pendant 250 ms, suivi du visage d'un personnage (i.e. la cible) qui disparaissait à la réponse du participant (dans un temps limité à 2 secondes maximum). Pour la majorité des participants, les essais étaient de condition congruente à 50%, mis à part pour le synesthète F.C. pour qui ce ratio tombait à 33,33% pour vérifier qu'il n'y ait pas d'effet de stratégies. En moyenne, les contrôles sont plus rapides que les synesthètes toutes conditions confondues. De manière générale, les essais sont plus rapides dans la condition congruente que différente. Conformément aux hypothèses, cette disparité a tendance à être davantage prononcée dans le groupe des synesthètes, et est retrouvée au niveau individuel pour chacun d'eux, même pour le synesthète F.C. dont le nombre d'essais de la condition congruente était moins important, rendant donc sa synesthésie désavantageuse et contre-stratégique. Cet

effet de congruence n'est pas retrouvé chez les contrôles, même dans le groupe où les participants ont choisi leurs associations Lettre-Genre. Les auteurs s'appuient sur ces observations pour considérer que la synesthésie se fait de manière automatique et involontaire. Il est cependant important de noter, comme cela sera énoncé plus bas dans le cadre de la synesthésie de Forme des nombres, que le temps de présentation de l'indice et de la cible ne permet pas de supprimer l'attention endogène et avec elle les stratégies cognitives (cf. 2.3.1, page 60). L'implication de l'attention endogène est d'autant plus probable que les synesthètes sont plus lents que les contrôles à cette tâche, de manière générale comme en condition congruente, alors qu'on s'attendrait à ce qu'ils soient plus rapides si la synesthésie était automatique et facilitatrice. De plus les synesthètes interrogés dans cette expérience associaient tous une couleur avec les graphèmes interrogés et la majorité rapportent un possible lien entre couleur et genre (e.g. les couleurs plus foncées associées au genre masculin ; cela était vrai pour tous sauf pour un) ce qui aurait pu augmenter leur rapidité en condition congruente.

De manière générale, ces trois tâches ne permettent pas d'attester catégoriquement du caractère automatique et involontaire de la synesthésie Graphème-Personnalité dans le sens où elle serait dénuée de toute stratégie, de toute attention endogène. Comme nous l'avons montré précédemment en tentant de caractériser l'expérience synesthésique en générale (cf. Section 1.1.3, page 25), et plus particulièrement pour la synesthésie Graphème-Couleur, l'attention visuelle impliquée dans les différentes études peut, dans tous les cas, être induite par une stratégie cognitive apprise et rapide du fait de l'expérience. En résumé, l'expérience synesthésique est vécue extrêmement rapidement après l'apparition de l'inducteur et est en cela considérée comme automatique, mais elle n'est pas pré-attentionnelle.

L'association Graphème-Personnalité est idiosyncrasique et arbitraire

Les associations synesthésiques Graphème-Personnalité sont considérées comme idiosyncrasiques ; elles varient d'un individu à l'autre. Les personnalités ou les genres sont associés arbitrairement aux lettres et aux chiffres ; il n'y a pas de raison apparente pour qu'un graphème ait plus une personnalité qu'une autre même si on peut retrouver des tendances d'associations entre synesthètes en interrogeant

un plus large échantillon (Simner *et al.*, 2011a). Calkins (1895) remarque que les personnalités associées aux graphèmes sont plus ou moins détaillées selon le synesthète interrogé (cette hypothèse est soutenue par les observations de Flournoy, 1893 et d'autres études plus récentes Simner *et al.*, 2011a; Simner et Holenstein, 2007; Smilek *et al.*, 2007; Sobczak-Edmans, 2013). Les synesthètes auraient tendance à associer des personnalités surtout aux chiffres plus qu'aux lettres (50% de plus de chiffres personnifiés que de lettres). Calkins (1895) le justifie en considérant que les nombres demandent plus d'efforts intellectuels que les lettres et de ce fait ils seraient plus susceptibles d'être associés à des facteurs émotionnels. Ces préférences numériques seraient associées à la distinction entre les nombres pairs et impairs : 22 synesthètes apprécient seulement les pairs et douze seulement les impairs (sur 75 synesthètes interrogés). A l'inverse, seulement quatre n'aiment pas les pairs contre 38 pour les impairs. Les nombres 2 (pair) et 5 (impair) seraient particulièrement appréciés. Au contraire 7, 11 et 13 déclencheraient de l'aversion. L'auteur le justifie par la difficulté à utiliser les nombres impairs par rapport aux pairs, notamment du fait de leur indivisibilité. La distinction entre lettres et chiffres n'est pas retrouvée par Sobczak-Edmans (2013). D'après ses observations, si on considère seulement le genre, lettres et chiffres sont tout autant personnifiés. Ses 27 participants (24 de langue maternelle anglaise, deux italienne et un japonaise) personnifient :

- les nombres pour 100% d'entre eux (personnalité et genre),
- les lettres pour 71% d'entre eux (que ce soit à des personnalités ou à des genres).

Au niveau plus particulier des graphèmes :

- 52% donnent à la fois des personnalités et des genres (i.e. 14 synesthètes).
- 3% donnent seulement des genres sans personnalité (i.e. 1 synesthète).
- 78% pour les lettres (i.e. 11 synesthètes) et 68% (i.e. 17 synesthètes) pour les nombres leur associent un rôle social et des relations.
- 64% des synesthètes attribuent aux lettres des apparences humaines (i.e. 9 synesthètes), contre 54% aux nombres (i.e. 14 synesthètes).

La synesthète L., dont la description est rapportée par Flournoy (1893), dit expérimenter une association plus ou moins détaillée en fonction de son âge. De plus, les quatre derniers jours de la semaine ont pour elle une personnalité moins

détaillée que ses chiffres ; le concurrent peut être plus ou moins détaillé d'un synesthète à l'autre mais aussi, pour un même synesthète, en fonction de l'inducteur et de l'âge à laquelle la personne est interrogée (Flournoy, 1893; Sobczak-Edmans, 2013). Comme pour les autres types de synesthésie (e.g. la Forme des nombres, Flournoy, 1893; Sagiv *et al.*, 2006, ou la synesthésie Graphème-Couleur, Dixon *et al.*, 2004; Grossenbacher et Lovelace, 2001), la personnification peut être décrite comme étant vécue intérieurement, dans l'œil intérieur (« tout cela reste à l'état d'image mentale » Flournoy, 1893, p. 220), ou *projetée* dans le monde extérieur (Simner et Holenstein, 2007). Ce dernier point appuie l'idée que les Personnifications font partie des synesthésies, même si ce point ne peut être considéré comme un critère à part entière de sa définition du fait de la différence interindividuelle importante (Simner, 2012a).

Les associations Graphème-Personnalité sont conscientes

Comme pour la synesthésie de type Forme des nombres et Graphème-Couleur, les associations synesthésiques Graphème-Personnalité sont disponibles à la conscience du synesthète (Jarick *et al.*, 2011; Simner, 2009, 2012a; Simner *et al.*, 2011a). D'après les récits des synesthètes interrogés par Simner et ses collaborateurs (2011a), les associations synesthésiques Graphème-Personnalité peuvent être inspectées et évaluées par les synesthètes eux-mêmes. Comme pour les autres types de synesthésie (cf. pour la synesthésie de Forme des nombres, Flournoy, 1893; Seron *et al.*, 1992), la typographie dans laquelle est présenté le graphème peut changer la force de l'expérience synesthésique (Calkins, 1893) ; le synesthète G.T. rapporte que les personnalités des graphèmes sont pour lui plus vivaces lorsque ces derniers sont présentés en capitale plutôt qu'en minuscule (Simner *et al.*, 2011a). 65% des synesthètes disent expérimenter la personnification de façon plus forte et plus fréquente quand le stimulus est présenté à l'écrit d'après l'étude d'Amin et collaborateurs (2011). D'après les réponses à un questionnaire des synesthètes de personnification, Sobczak-Edmans (Sobczak-Edmans, 2013) rapporte que 18% des synesthètes interrogés observent un changement dans l'intensité de leur expérience synesthésique avec les différentes typographies. Les synesthètes questionnés par cet auteur ne sont pas tous conscients de leurs associations synesthésiques avec tous les types

de présentations de l'inducteur : tous disent que le concurrent se déclenche à la vue d'un graphème, 96% en y pensant et 74% en l'écoutant. Pour 56% des synesthètes, les lettres peuvent déclencher leur personnalité même quand elles sont dans un mot, et pour 70%, les chiffres peuvent le faire dans un nombre.

Comme dans les synesthésies *Forme des nombres* et *Graphème-Couleur*, les théories proposant un continuum entre les individus non synesthètes et synesthètes, impliquent notamment une variation du niveau de conscience (Flournoy, 1893; Simner, 2009). Flournoy (1893) observe en effet dans la population générale une tendance à apprécier ou déprécier une chose, même les éléments abstraits comme les lettres, et, plus souvent, les chiffres, comme c'est le cas chez les synesthètes (Calkins, 1895).

2.3 La synesthésie de Forme des nombres

La synesthésie de *Forme des nombres* aurait été décrite pour la première fois par Francis Galton (Eagleman, 2009; Flournoy, 1893; Galton, 1880; Gertner *et al.*, 2009; Jonas et Jarick, 2013). Elle fait partie d'un plus grand type de synesthésie appelé *la synesthésie de Séquences Spatiales* ou encore *de Formes Visuo-Spatiales*, termes génériques qui regroupent tous les synesthètes qui arrangent une ou plusieurs séquences ordonnées (nombres, lettres, mois, . . . ; c'est l'*inducteur*) dans l'espace (i.e. le *concurrent*; Eagleman et Goodale, 2009; Jonas et Jarick, 2013). Il existe plus de cinquante types différents de séries considérées sous ces termes (Hubbard *et al.*, 2009), puisque tous les concepts susceptibles d'être considérés dans des séries peuvent être arrangés spatialement (Flournoy, 1893). Dans le cadre de la synesthésie *Forme des nombres*, chaque membre de la suite numérique induit la sensation d'une localisation spécifique dans un diagramme plus large, en fonction des autres membres de la séquence (Jonas et Jarick, 2013; Phillips, 1897; Price, 2009a). Cette synesthésie, que ce soit au niveau général (i.e. toutes Séquences Spatiales comprises) ou au niveau plus réduit de *Forme des nombres*, est considérée comme l'un des types les plus répandus (Jonas et Jarick, 2013 ; cf. section 1.2, page 25). Elle n'a pourtant pas toujours été considérée comme une synesthésie.

2.3.1 La Forme des nombres, une forme de synesthésie

La considération de la Forme des nombres et plus généralement des Séquences Spatiales comme un type de synesthésie à part entière a été longtemps discutée, notamment du fait du caractère construit et majoritairement langagier de l'inducteur, quand les autres types de synesthésie étaient plutôt vus et décrits comme sensoriels (Jonas et Jarick, 2013). Mais ce dernier point étant très largement remis en cause, les types de synesthésies considérés comme tels à l'unanimité étant eux aussi composés de traits conceptuels (e.g. la synesthésie graphème-couleur ; cf. section 1.1.3, page 25), la place de la Forme des nombres est interrogée de nouveau. Pour justifier du caractère synesthésique des associations entre nombres et localisation spatiale, les auteurs se sont appuyés sur les différents points considérés comme les principaux marqueurs de cette condition (cf. encadré ci-dessous).

Rappel de la section 1.1.3

L'association synesthésique, reliant un *inducteur* (ici les nombres, par exemple le 2) à son *concurrent* (une localisation spatiale, comme par exemple juste après le 1 et avant le 3 sur une ligne verticale allant de bas en haut ; Grossenbacher, 1997), est définie par six traits caractéristiques : elle est additionnelle, idiosyncrasique, constante, automatique, consciente et arbitraire (Hupé, 2012; Simner, 2012a).

La Forme des nombres est constante

La Forme des nombres est considérée comme un type de synesthésie notamment du fait de la stabilité des caractéristiques de son image mentale (direction, position, taille physique) et de son indépendance aux influences extérieures possibles (différents moments de la journée ; Hubbard *et al.*, 2009). Pour attester la constance, plusieurs méthodes ont été utilisées par les différents auteurs (comme c'est le cas dans les autres types de synesthésie). Dans les premières études (Galton, 1880; Phillips, 1897; Sagiv *et al.*, 2006; Seron *et al.*, 1992), le synesthète potentiel Forme des nombres devait reproduire sur papier l'organisation spatiale de ses nombres dans deux sessions espacées dans le temps, et/ou répondre à un questionnaire interrogeant la présence de ce genre d'associations mais aussi sa constance. C'est l'expérimentateur qui devait juger de la ressemblance/différence des deux

formes produites dans le cas du dessin ; la véracité des réponses aux questionnaires n'était pas nécessairement vérifiée. Plus récemment, et pour avoir des tests plus objectifs, les auteurs utilisent principalement une procédure informatique. Le synesthète S.W. (Piazza *et al.*, 2006) devait reproduire la forme de sa séquence numérique en positionnant les nombres présentés au centre de l'écran à l'endroit qui leur correspond. Chaque session était composée de deux blocs : un premier bloc composé de tous les nombres impairs de 1 à 39, tandis que le second était constitué de tous les nombres compris entre 20 et 35. Chaque chiffre était présenté onze fois dans un ordre aléatoire. Les deux sessions étaient espacées de deux ans. Hubbard et ses collaborateurs (2009) ont demandé à un synesthète de dessiner la forme de ses nombres (i.e. de 1 à 12 dans une première tâche, et de 1 à 40 dans une deuxième) en deux dimensions sur un écran en cliquant avec la souris sur l'emplacement approprié pour chaque nombre séparément. Les deux tâches commençaient avec le plus petit puis le plus grand numéro de chaque série pour permettre au participant de délimiter les extrémités de ses coordonnées spatiales. Les autres nombres de la séquence étaient ensuite présentés un à un de manière aléatoire et répétés dix fois. Ce schéma a été reproduit dans une seconde session un an plus tard. Huit participants contrôles durent passer la même procédure mais leurs deux sessions étaient seulement espacées de deux à trois semaines. Pour tester la constance de ces associations nombre-localisation spatiale, les auteurs ont utilisé deux valeurs :

- l'angle, en degré, entre chaque nombre interrogé de la séquence et le 1, et
- la distance en pixels entre chaque nombre interrogé et le 1.

Les auteurs ont observé des limites dans cette façon de traiter les données car les résultats du synesthète ont été comparés à ceux de huit contrôles qui avaient pour consigne, lors de la seconde session, de se rapprocher le plus possible de la forme dessinée lors de la première session. Trois d'entre eux (i.e. la moitié) ayant organisé leur séquence en ligne droite, il leur était très facile de réitérer le premier motif.

Eagleman (2009) a quant à lui développé un logiciel de réalité virtuelle permettant aux synesthètes de placer physiquement les membres de leur séquence (e.g. les nombres) à la place qu'ils leur attribuent habituellement dans un espace tridimen-

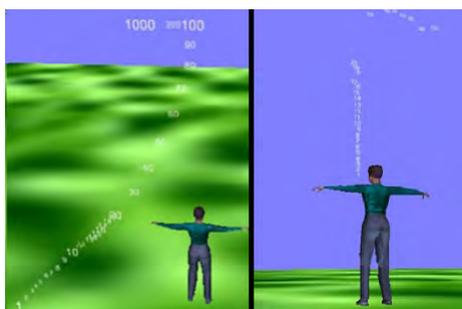


Fig. 2.5: Exemples de Forme des nombres en trois dimensions de deux sœurs synesthètes représentées à l'aide du logiciel de réalité virtuelle développé par Eagleman (Eagleman et Goodale, 2009).

sionnel⁴. Ces derniers peuvent changer de perspective et placer leur « avatar » de sorte que leur séquence est visible à la première ou à la troisième personne (Figure 2.5). Les coordonnées tridimensionnelles de chaque membre de la séquence sont ensuite enregistrées dans chaque session effectuée par le synesthète puis comparés pour en déterminer la constance.

Comme pour les autres types de synesthésie, le niveau de constance est utilisé pour considérer une personne comme étant synesthète (Baron-Cohen *et al.*, 1987; Rich *et al.*, 2005; Simner, 2012a), mais le niveau de constance entre deux sessions, bien qu'étant plus élevé chez les synesthètes que chez les personnes non synesthètes, peut changer d'un synesthète à l'autre, au sein d'un même type de synesthésie. Et si la forme en elle-même ne change pas au cours du temps, la prise de vue de cette forme par le synesthète peut changer (le point d'observation peut être modifié; Eagleman, 2009).

La Forme des nombres est automatique et involontaire

La Forme des nombres est aussi décrite comme automatique et involontaire (e.g. les synesthètes D.G. Hubbard *et al.*, 2009 et S.W. Piazza *et al.*, 2006). Pour étudier ce point de manière objective, et tenter de déterminer le niveau de traitement auquel les nombres interagissent avec une localisation spatiale (comme c'est le cas pour la synesthésie Graphème-Couleur; Dixon *et al.*, 2004; Piazza *et al.*,

4. Ce logiciel est aujourd'hui rattaché au site créé par le même auteur et permettant de tester et d'analyser différents types de synesthésies (www.synesthete.org; Eagleman *et al.*, 2007).

2006; Ramachandran et Hubbard, 2001a; Smilek *et al.*, 2001), les chercheurs ont repris l'effet de l'association nombre-position spatiale des codes réponses (i.e. effet SNARC⁵; Jarick *et al.*, 2009; Piazza *et al.*, 2006) et l'effet d'indication spatiale⁶ (Jarick *et al.*, 2009, 2011; Smilek *et al.*, 2007), deux effets observés sur les résultats comportementaux de la population générale notamment dans des tâches de jugement de magnitude ou de parité (paire ou impaire).

L'effet SNARC : L'effet SNARC (i.e. l'effet de l'association nombre-position spatiale des codes réponses; cf. encadré page 65) est considéré dans la littérature scientifique concernant la synesthésie Forme des nombres comme l'illustration comportementale d'une association spontanée des nombres et de l'espace chez l'ensemble des individus (voir pour revues, Simner, 2009, et plus particulièrement Price et Mattingley, 2013, pour une critique de cette position). Il est donc utilisé pour attester des similarités et des différences entre synesthètes et non synesthètes, et plus particulièrement démontrer le caractère automatique et involontaire des Séquences Spatiales de manière générale et des Formes des nombres en particulier. Après avoir attesté de la synesthésie de ses cinq participants par l'intermédiaire d'un test de constance, Sagiv et ses collaborateurs (Sagiv *et al.*, 2006) leur ont demandé d'effectuer une tâche de magnitude entre deux nombres (i.e. déterminer le nombre le plus grand ou le plus petit) présentés à une place soit congruente à la localisation dans leur forme soit différente, afin d'avoir un premier regard sur le caractère involontaire des Formes des nombres. Les synesthètes se révèlent être plus lents dans le cas où la présentation divergeait de leurs Formes, que dans la condition congruente. À travers l'étude de cas du synesthète S.W., comparé à dix participants non synesthètes contrôles, Piazza, Pinel et Dehaene (2006) vont plus loin dans cette analyse en déclinant l'étude de cet effet à diverses tâches. Comme les cinq synesthètes décrits dans l'étude de Sagiv et collaborateurs (2006), S.W. était plus rapide que les sujets contrôles lorsque les attributs spatiaux des stimuli étaient compatibles à l'orientation globale de sa séquence numérique et au contraire plus lent lorsqu'ils étaient incompatibles, que la ligne représentant la

5. Cf. encadré section 2.3.1 page 65.

6. cf. encadré section 2.3.1 page 68. Le terme *indication* renvoie à la présentation d'un stimulus, l'*indice*, afin d'annoncer un stimulus *cible*. Les performances de réponses en seront alors améliorées.

forme de S.W. soit présentée à l'écran ou non. Ces résultats sont répliqués lorsque la tâche du participant est une comparaison de magnitude à une norme fixe, mais dans une tâche de parité, le synesthète S.W. paraît répondre de la même façon que les contrôles (i.e. les petits nombres sont plus vite identifiés à gauche, les grands à droite). Ce dernier résultat est à considérer avec attention car l'effet SNARC est de manière générale moins fort dans ce type de tâche que dans celles impliquant fortement la cognition de la magnitude des nombres (Wood *et al.*, 2008). L'étude de cas du synesthète français D.G. (en comparaison avec huit participants contrôles) de Hubbard et collaborateurs (2009) a pour objectif de tester l'automatisme de la synesthésie. Forme des nombres en répliquant et étendant les résultats de ces deux études (Piazza *et al.*, 2006; Sagiv *et al.*, 2006). Ce dernier associe les petits nombres avec la plus petite portion de l'espace, et les grands nombres avec la plus grande lors de tâche de comparaison numérique (i.e. quel nombre est le plus petit ou le plus grand) en fonction de la représentation spatiale de sa suite numérique. Cet effet est observé de façon plus faible chez les sujets contrôles. Conformément aux études antérieures dans la population normale et synesthésique, l'effet SNARC observé dans ces deux populations est retrouvé dans la tâche de jugement de magnitude avec une norme fixe. Lors de tâches de parité, l'effet SNARC n'est observé ni chez le synesthète ni chez les contrôles, conformément à l'étude précédemment décrite (Piazza *et al.*, 2006), au synesthète B. (Jarick *et al.*, 2009) et à l'hypothèse de la revue de littérature scientifiques sur l'effet SNARC chez la population générale (Wood *et al.*, 2008). Les auteurs en concluent que l'interférence induite par la Forme des nombres demande une représentation explicite de l'information spatiale et un accès explicite à l'information de magnitude. La synesthète L., dont la Forme des nombres de 1 à 10 va verticalement de bas en haut puis horizontalement toutes les dizaines de gauche à droite (Jarick *et al.*, 2009), réplique les résultats observés dans les tâches de jugement de magnitude chez les synesthètes des études citées ci-dessus, mais aussi dans la tâche de parité; quelle que soit la Forme que prend la séquence numérique du synesthètes, l'effet SNARC en est dépendant.

L'effet SNARC d'après la revue de Wood *et al.*, 2008

L'effet SNARC (i.e. effet de l'association nombre-position spatiale des codes réponses) a été décrit pour la première fois dans une étude de Dehaene, Bossini et Giraux (1993) dans des tâches de parité (i.e. pair ou impair) et de magnitude (i.e. comparaison de deux chiffres) : les participants répondent plus rapidement avec le bouton de gauche pour des petits chiffres (e.g. les chiffres entre 1 et 4 quand la liste s'arrête à 9) et celui de droite pour des grands chiffres (e.g. les chiffres entre 6 et 9 pour la même liste). A travers neuf expériences, ces auteurs ont déterminé que cet effet :

- n'était pas affecté par la latéralité du participant mais pouvait être diminué ou inversé chez les personnes lisant et écrivant de droite à gauche.
- était lié à la localisation du bouton-réponse plus qu'à la main utilisée pour répondre (en croisant les mains, l'effet est toujours le même : les petits nombres font l'objet d'une réponse plus rapide à gauche, les grands à droite).
- était répliqué avec les noms des nombres mais pas avec des lettres ; l'effet ne paraît pas être dû aux séquences mais à des caractéristiques numériques.

Les auteurs en concluent qu'il existe une ligne mentale des nombres, reliant nombres et localisation spatiale de manière systématique. Cet effet a été répliqué par la suite avec d'autres paramètres réponses tels que le pointage, les mouvements oculaires et dans la force de la prise. Les temps de réponses et la nature de la tâche paraissent avoir un impact sur sa taille ; il est comparable quand les études utilisent les chiffres arabes, ou les noms des chiffres (qu'ils soient écrits ou parlés). De plus, la force de l'effet SNARC est d'autant plus grande que la magnitude des nombres est activée. Il pourrait donc bien y avoir une association entre nombre et espace, mais surtout dans les tâches sémantiques (e.g. tâche de parité), par rapport à celles non sémantiques (e.g. discrimination de couleur). L'effet SNARC fluctue avec l'âge des participants : plus l'échantillon interrogé est âgé, plus l'effet est grand. Wood et collaborateurs (2008) ont estimé que pour observer un effet les enfants interrogés doivent avoir environ 9,5 ans. Les auteurs émettent l'hypothèse que les enfants n'activent pas la magnitude des nombres de la même manière que les adultes, et que l'organisation des nombres dans l'espace doit être moins automatique.

L'effet d'indilage spatial : Jarick et ses collaborateurs (Jarick *et al.*, 2009) ont repris la tâche mise en place par Fischer (Fischer *et al.*, 2003 ; cf. encadré page 68) pour étudier le caractère involontaire et automatique des Formes des nombres de deux synesthètes (L. et B.). Dans la condition « alignée » l'indilage oriente vers

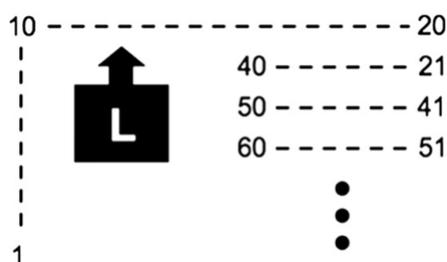


Fig. 2.6: **Illustration de la Forme des nombres de la synesthète L.** (Jarick *et al.*, 2009, 2011). Les chiffres de 1 à 10 sont rangés verticalement de haut en bas, les nombres de 10 à 20 horizontalement de gauche à droite.

une cible (ici un cercle) apparaissant du côté où le chiffre est positionné dans la Forme de chaque synesthète (i.e. pour les chiffres entre 1 et 9, en haut ou en bas de la croix de fixation à l'écran ; Figure 2.6). À l'inverse, en condition « non alignée » la cible apparaît sur un côté inapproprié (i.e. à gauche ou à droite de la croix de fixation, pour les chiffres entre 1 et 9). La cible apparaît autant à droite qu'à gauche ; l'indice n'est donc pas pertinent pour le participant. Les réponses des deux synesthètes L. et B. ont été analysées à la lumière de celles de douze participants contrôles (i.e. non synesthètes). Dans 20% des essais, aucune cible n'était présentée afin de vérifier que les participants effectuaient la tâche demandée. Les auteurs observent un changement dans l'orientation de l'attention en fonction de la forme de la séquence numérique des synesthètes : l'effet d'indication est inexistant dans la condition « non alignée » et au contraire il est fort dans la condition « alignée », et ce, même lorsque indice et cible sont peu espacés (i.e. effet observé à partir de 350 ms d'intervalle, alors qu'il est observé dans les temps de réponse de l'étude d'origine sur la population générale à partir de 400 ms : Fischer *et al.*, 2003). Les réponses des participants contrôles n'ont pas été influencées par l'indication ; l'effet d'indication n'est pas retrouvé chez ces participants contrairement à ce que prédit l'étude de Fischer et collègues (2003). Ces résultats sont répliqués en considérant une autre partie de la séquence numérique qui se présente, pour L. comme pour B., sur une ligne horizontale allant de gauche à droite, contrairement à la première qui va verticalement de bas en haut. L'attention spatiale des deux synesthètes interrogés a pu être indiquée par la Forme des nombres. Pour vérifier que cet effet ne soit

pas dû à une stratégie volontaire, Jarick, Dixon et Smilek (2011) ont analysé l'effet d'indigage sur les réponses de la synesthète L. en diminuant l'écart entre la présentation de l'indice et de la cible à 150 ms, en rendant l'indigage contre-productif (i.e. la cible est présentée à 80% dans l'espace inverse de celui prévu par l'indice), et en demandant clairement à L. d'utiliser une stratégie inverse à sa Forme (Figure 2.6). Douze individus non synesthètes ont servi de contrôles dans ces trois expériences. L'effet d'indigage est retrouvé chez cette synesthète lorsque l'indigage est aligné à la Forme de la séquence numérique, même avec un temps de présentation très court entre indice et cible. Il est aussi retrouvé lorsque L. a pour consigne d'utiliser la stratégie inverse à sa forme ; la synesthète n'a pas pu prendre avantage de cette stratégie. Les auteurs en concluent que la synesthésie Forme des nombres est automatique et dénuée de toute stratégie (i.e. involontaire).

Hubbard et ses collaborateurs (Hubbard *et al.*, 2009) ont eux aussi repris la tâche de détection mise en place par Fischer en étudiant la Forme des nombres du synesthète D.G. Le synesthète était plus rapide en condition congruente (i.e. l'indice aligné à la Forme de sa séquence numérique) et ce, quel que soit le délai de présentation. Pour l'auteur, ces résultats, couplés à ceux observés dans d'autres tâches (i.e. étude de l'effet SNARC dans différentes tâches chez ce même synesthète ; cf. paragraphe précédent) attestent du caractère automatique de l'expérience de D.G. et par la même de la présence de la Forme des nombres parmi les différents types de synesthésie.

L'effet d'indilage, les nombres comme indice pour détourner l'attention spatiale

L'effet d'indilage utilisé pour étudier l'attention spatiale (Posner et Cohen, 1984) permet, dans le cadre de la cognition des nombres et plus particulièrement de la synesthésie de Forme des nombres, d'aborder la question de l'automatisme et de la séparer des stratégies que les individus interrogés pourraient mettre en place, en faisant notamment varier les temps de présentation. L'indilage est considéré comme permettant d'orienter de façon involontaire l'attention dans la direction de l'indice. Les nombres peuvent jouer le rôle d'indice, sur le même principe que l'effet SNARC : les petits nombres sont associés à l'espace gauche, les grands au droit, entraînant un détournement de l'attention vers l'espace auquel le chiffre est associé, et ce même si ce chiffre ne prédit pas l'emplacement de la cible et n'est pas pertinent pour la tâche de détection (Fischer *et al.*, 2003). Cet effet peut être étudié à partir des temps de réponses ou en analysant les mouvements des yeux.

Conclusion concernant le caractère automatique et involontaire des synesthésie de Forme des nombres : Price et Mattingley (Price et Mattingley, 2013) relèvent un problème dans l'interrogation de l'automatisme de la synesthésie en général, et de la Forme des nombres en particulier : les études n'analysent pas précisément dans quelle mesure la Forme des nombres pourrait être provoquée automatiquement et involontairement.

Le nombre de synesthètes étudiés reste très faible quel que soit l'effet interrogé (i.e. cinq dans l'étude de Sagiv et collègues Sagiv *et al.*, 2006, et un à deux dans les autres études Hubbard *et al.*, 2009; Jarick *et al.*, 2009, 2011), alors que cette condition paraît relativement courante (la synesthésie de Séquence Spatiale est l'un des types les plus répandus, cf. section 1.2, page 25). Il paraît donc important de généraliser les résultats obtenus à de plus grands échantillons pour attester de leur représentativité (Price et Mattingley, 2013). Ce point est d'autant plus important que Seron et collaborateurs (1992) observent des différences interindividuelles dans la façon dont la Forme des nombres apparaît aux synesthètes qu'ils ont rencontrés. D'après ces auteurs, seulement un synesthète sur deux (i.e. 12/26 cas) perçoit sa Forme immédiatement après avoir vu ou entendu un nombre. Pour la grande majorité des synesthètes restants (11/26), l'apparition de la Forme dépend du contexte. La séquence synesthésique paraît cependant être difficile à éliminer

une fois activée. La focalisation de l'attention sur autre chose paraît être un facteur déterminant pour en diminuer l'importance.

La synesthète L. a été étudiée plusieurs années de suite sur la même tâche (Jarick *et al.*, 2009, 2011); il paraît important de tester d'autres synesthètes pour confirmer que les résultats obtenus dans les dernières études ne sont pas dus à l'entraînement.

L'utilisation de l'effet SNARC dans ce cadre peut être remis en question : dans la population générale, l'effet SNARC n'est pas une signature univoque d'un codage spatial à long terme, que ce soit pour les nombres ou pour d'autres séquences (Price et Mattingley, 2013). Cet effet n'est pas retrouvé chez tous les individus de manière générale (Wood *et al.*, 2008) ni chez tous les synesthètes interrogés (Jarick *et al.*, 2009), ce qui affaiblit l'idée que la synesthésie de Forme des nombres soit induite automatiquement chez tous les synesthètes. Et même lorsque l'effet est présent chez les synesthètes, il paraît être de même force que chez les non synesthètes contrôles. De plus il paraît possible de retrouver le même effet chez les individus contrôles en leur demandant explicitement d'imaginer telle ou telle forme (Bächtold *et al.*, 1998). Cette tâche n'est donc sans doute pas la plus adéquate pour traiter de l'automaticité des Séquences Spatiales en général et des Formes des nombres en particulier (Price et Mattingley, 2013).

Concernant les résultats des synesthètes Forme des nombres induits par l'effet d'indigage, ils ne permettent pas pour le moment de démontrer de façon claire un changement d'attention automatique; les comportements observés peuvent être dus à des stratégies spécifiques à la tâche demandée, comme c'est le cas dans l'indigage endogène (Price et Mattingley, 2013). En effet, les temps séparant le début de la présentation de l'indice et celui de la cible sont supérieurs à 100 ms dans toutes les études s'intéressant au caractère automatique de la synesthésie Forme des nombres (le minimum étant 150 ms; Hubbard *et al.*, 2009; Jarick *et al.*, 2009, 2011). Or l'attention est considérée comme exogène (i.e. dépourvue de processus descendant), et donc comme assurément automatique, en dessous de 100 ms et au contraire endogène (i.e. lié à une stratégie cognitive) entre 100 et 500 ms. Il faudrait donc réitérer ces études avec des temps entre les présentations des indices et des cibles inférieurs à 100 ms pour pouvoir être sûr qu'aucun processus descendant n'est en jeu dans les résultats observés chez les synesthètes.

Le caractère automatique de la synesthésie Forme des nombres reste à préciser, comme c'est le cas pour les autres synesthésies (e.g. la synesthésie Graphème-Couleur, qui est pourtant le type le plus étudié et considéré comme un exemple de synesthésie par excellence ; Gheri *et al.*, 2008; Mattingley *et al.*, 2001; Price et Mattingley, 2013 ; cf. section 1.1.3 page 25). Est-ce « automatique » dans le sens où la synesthésie est liée à l'attention *exogène* ? Les résultats actuels ne permettent pas de démontrer que la synesthésie en général, et la Forme des nombres en particulier ne sont pas dues à des représentations apprises après de multiples répétitions et qui découlent de processus descendants habituels, de stratégies contrôlées, activées lorsqu'elles sont utiles (Price et Mattingley, 2013). Les résultats présentés dans cette section, en accord avec ceux observés chez les synesthètes Graphème-Couleur (cf. section 1.1.3 page 25), interrogent la place donnée au critère de l'automatisme dans la définition de la synesthésie de manière générale.

La Forme des nombres est arbitraire et idiosyncrasique

La Forme que prend la séquence numérique de chaque synesthète est considérée comme idiosyncrasique ; elle est extrêmement variée (Flournoy, 1893; Phillips, 1897), quelle que soit la tranche d'âge interrogée (Phillips, 1897). Il n'existe pas une Forme unique caractéristique de cette condition. Il a pu cependant être observé des similarités entre la Forme reportée par cette population à grande échelle (Calkins, 1893; Flournoy, 1893; Galton, 1880; Phillips, 1897; Sagiv *et al.*, 2006; Seron *et al.*, 1992). Elle peut se représenter sur des plans en deux ou en trois dimensions selon leur degré de complexité. En effet, la Forme décrite par les synesthètes peut aller de la simple ligne droite sur un plan fixe à une organisation complexe en trois dimensions (Figure 2.7, page 71). Plusieurs critères sont alors utilisés pour les décrire (Jonas et Jarick, 2013; Sagiv *et al.*, 2006) :

- la direction générale que prend la forme,
- sa continuité ou discontinuité,
- le type de ligne la constituant (i.e. courbe ou droite) ou
- l'espace dans lequel la Forme est décrite (i.e. péri-personnel ou imaginaire ; ce point rappelle la différence associateur/projecteur, cf. section 1.1.2 page 20).

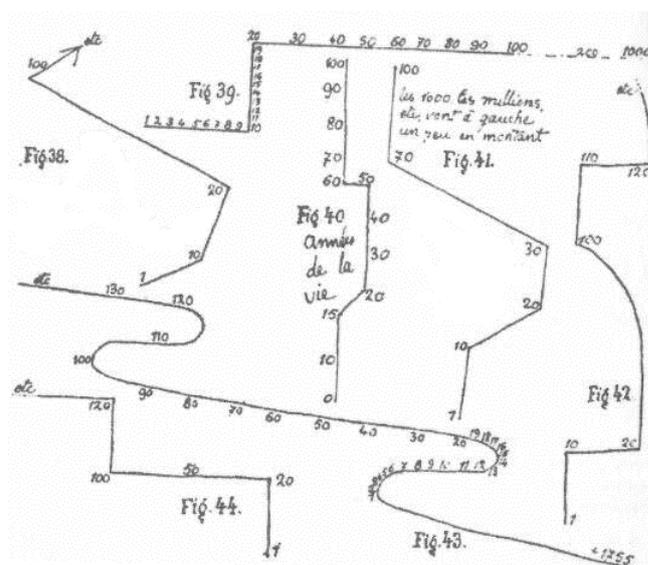


Fig. 2.7: Exemples de différentes représentations de la Forme des nombres recensées par Flournoy (1893) suite à des entretiens avec différents synesthètes. La légende « Fig. » sera appelée *Forme* suivie de son numéro dans le corps du texte (e.g. « Forme 44 » fera référence à « Fig.44 » dans cette illustration).

Flournoy (1893) catégorise toutes les séquences numériques spatiales en deux groupes :

1. les Formes *simples*, rectilignes, qui suivent une même direction (e.g. les nombres placés en colonne de bas en haut ou de haut en bas, en diagonale). Ce chercheur inclut dans cette catégorie les Formes qui ne font qu'un ou deux changements de directions au début de la séquence numérique et finissent en ligne droite (e.g. la Forme 39 de la figure 2.7 est considérée comme rectiligne malgré ses deux changements de direction aux nombres 10 et 20).
2. les formes *complexes*, ou *zigzagées* sont très souvent organisées en trois dimensions et ont plus ou moins de changements de direction. Ces changements peuvent dessiner des arrondis ou des angles (e.g. la forme 42 de la figure 2.7 ; d'après Flournoy lui-même, Flournoy, 1893, p. 163, les formes recensées graphiquement ne permettent pas de rendre compte de la complexité de ce type de formes, puisque les individus rencontrés n'ont pas tous les capacités graphiques nécessaires pour traduire leur représentation mentale, cette dernière

étant très régulièrement en trois dimensions).

Les séquences numériques arrangées en ligne droite horizontale de gauche à droite ne sont pas toujours considérées comme une forme de synesthésie, du fait de leur lien étroit avec le sens de l'écriture occidentale (les participants interrogés étant, à notre connaissance, tous occidentaux) et par conséquent de leur organisation traditionnelle, notamment lors de leur apprentissage (e.g. on pourra les retrouver comme Forme des nombres dans Sagiv *et al.*, 2006 mais non considérées dans Flournoy, 1893). Lorsque ces lignes sont considérées comme une Forme, ce sont les plus récurrentes (Peabody, 1915; Sagiv *et al.*, 2006).

Différents chercheurs ont pu remarquer que les changements de direction dans la Forme des nombres des différents synesthètes interrogés semblent s'effectuer de manière récurrente à des nombres particuliers :

1. au niveau intra-subjectif :
 - le schéma dessiné au début de la séquence se trouve répété à l'infini dans la suite de la séquence. C'est le cas par exemple des Formes 42 et 44 recensées par Flournoy (1893; figure 2.7).
 - La Forme prend une tournure particulière au début, puis se généralise à une catégorie (e.g. au dizaine ou au centaine). Les synesthètes L. et B. décrits par Jarick (2009; 2011) reproduisent la même forme toutes les vingtaines à partir de 20 (Figure 2.6 page 66).
2. au niveau inter-subjectif :
 - La Forme paraît s'arrêter le plus souvent à 100 ou au moins s'estomper à partir de ce nombre (Flournoy, 1893; Phillips, 1897; Seron *et al.*, 1992). D'après l'étude de Phillips (1897), seulement un cinquième des Formes rencontrées continueraient après 100.
 - Les Formes paraissent évoluer au rythme des concepts construits culturellement régissant les nombres, à savoir les unités, les dizaines, les centaines,...(Figure 2.7; Calkins, 1893; Flournoy, 1893; Galton, 1880). La majeure partie des changements de direction se font aux nombres 10 ou 12 (Flournoy, 1893; Phillips, 1897; Seron *et al.*, 1992).
 - Les Formes en ligne droite (e.g. diagonales, colonnes,...) sont les plus répandues (Peabody, 1915; Sagiv *et al.*, 2006).

- la majorité des Formes synesthésiques vont de gauche à droite ; les autres sont majoritairement montantes (Sagiv *et al.*, 2006). Il n’y a pas de consensus dans la littérature scientifique concernant les proportions de lignes continues et discontinues (les premières sont majoritaires dans l’étude de Sagiv et collègues, 2006 ; c’est l’inverse pour Peabody, 1915).

D’après Flournoy (1893), si le début de la séquence numérique spatialisée par le synesthète (à savoir la séquence numérique de 1 à 10, 12 voir 20) est plus détaillé, ou du moins s’il donne son organisation au reste de la séquence, c’est parce qu’il est rencontré en premier dans les apprentissages. Les changements de directions représenteraient les arrêts et reprises dans l’apprentissage des nombres, ou les endroits où une difficulté de mémorisation a été rencontrée. Phillips (1897) remarque que l’enfant apprend généralement à compter jusqu’à 10 dans un premier temps notamment en comptant sur ses doigts, ou jusqu’à 12 (en Grande Bretagne victorienne notamment d’après Jonas et Jarick, 2013) puis l’enseignement s’arrête une fois la dizaine ou la douzaine atteint (ce qui expliquerait d’après l’auteur le premier changement de direction soit à 10 soit à 12). L’arrêt de la Forme au chiffre 12 peut aussi être rapproché de la représentation de l’heure ; hypothèse appuyée par l’observation de représentations de Forme des nombres en cercle et allant de 1 à 12 (Price et Pearson, 2013). Or on apprend aussi à lire l’heure assez jeune (vers 6 ans). Cette hypothèse d’un lien entre la Forme des nombres et l’apprentissage de la séquence numérique est corroborée par la remarque que l’organisation spatiale utilisée chez les enfants synesthètes est souvent géométrique et rapportée chez certains adultes comme étant perçue par le synesthète sur un tableau noir, un livre, . . . Les organisations géométriques paraissent disparaître le plus souvent chez l’adulte au profit de formes plus complexes (Phillips, 1897, p. 515).

La Forme des nombres est consciente

La Forme des nombres, comme les autres types de synesthésie, est une perception disponible à la conscience des synesthètes (Jarick *et al.*, 2009, 2011; Simner, 2009, 2012a). La façon de percevoir la Forme des nombres peut alors différer d’un synesthète à l’autre. Certains synesthètes perçoivent la séquence numérique dans leur tête, d’autres disent la *projeter* sur le monde extérieur (Flournoy, 1893; Gal-

ton, 1883; Sagiv *et al.*, 2006 ; cette dichotomie est retrouvée dans les descriptions des synesthètes en général, indépendamment du type de synesthésie ; cf. section 1.1.2 page 20). Lorsque la séquence est extériorisée, cette dernière est décrite soit comme étant devant les yeux de l'individu (cf. la partie droite de la Figure 2.5 page 62 pour un exemple), soit comme se répartissant dans son espace environnant (cf. la description de la synesthète L. de l'étude de Jarick et collaborateurs 2009; 2011, Figure 2.6 page 66). La façon de visualiser la Forme des nombres en elle-même change aussi : certains synesthètes vont parcourir la forme à partir du début jusqu'à trouver le membre de la séquence entendu ou vu, quand d'autres auront directement l'ensemble de la Forme sous les yeux (que ce soit l'œil intérieur ou extérieur ; Galton, 1883). Certains synesthètes peuvent changer volontairement l'orientation de la visualisation de la Forme pour s'en servir (zoomer ou dézoomer, déplacer la Forme en avant ou en arrière Eagleman, 2009; Galton, 1880; Jarick *et al.*, 2011; Seron *et al.*, 1992; Simner *et al.*, 2009b).

En résumé, la conscience de la présence d'une Forme des nombres peut varier :

- d'un synesthète à l'autre ; certains synesthètes décrivent ne prendre conscience de l'existence d'une Forme que lorsqu'ils en ont besoin (Seron *et al.*, 1992). L'introspection de la séquence numérique spatialisée n'est pas possible de la même façon chez tous les participants (e.g. tous ne sont pas capables de zoomer ou de changer de point de vue ; Jarick *et al.*, 2011; Price et Mattingley, 2013).
- d'une partie de la séquence à l'autre ; les nombres en dessous de 100 sont souvent plus éclatants (Flournoy, 1893; Galton, 1883; Phillips, 1897; Seron *et al.*, 1992).

Dans les théories impliquant un continuum entre les individus non synesthètes et les synesthètes, le niveau de conscience permet de distinguer l'expérience synesthésique des autres expériences (Simner, 2009).

La Forme des nombres est maintenant considérée comme un type de synesthésie. Mais sa proximité avec les mécanismes utilisés dans la population générale pour conceptualiser et utiliser les nombres n'est pas remise en question. Plus que pour les autres types de synesthésie, la théorie considérant qu'il existe un continuum entre synesthète et non synesthète est très répandue (Jonas et Jarick, 2013; Price, 2009a; Price et Mentzoni, 2008; Simner, 2009). Ces deux populations associeraient,

d'après cette théorie, nombre et position spatiale en fonction de la facilité avec laquelle l'individu génère des images mentales.

2.3.2 La Forme des nombres et l'imagerie mentale

L'imagerie mentale

L'imagerie mentale est définie par Galton (1883) comme la faculté de se représenter des images mentales plus ou moins vives et prolongées et la capacité à pouvoir les explorer et les modifier à sa guise, comme cela pourrait être fait avec de vrais objets. Ce concept est rattaché à des attributs de la mémoire visuelle. Ici l'image mentale est considérée à travers la vision, mais elle peut s'appuyer sur d'autres sens (Price, 2013). Quelle que soit l'intensité ou la nature de l'imagerie mentale, elle paraît s'appuyer sur des mécanismes cognitifs utilisés pour traiter l'information perceptuelle habituelle. Dans le cadre de la synesthésie en général et de la synesthésie Forme des nombres en particulier, c'est l'imagerie mentale visuo-spatiale qui est interrogée.

Les Formes spatiales pourraient utiliser les mêmes processus que l'imagerie mentale (Price, 2009a,b). La synesthésie Forme des nombres pourrait alors venir de stratégies visuo-spatiales de mémorisation mises en place pendant l'enfance lors de l'apprentissage de la suite numérique (Flournoy, 1893; Galton, 1883; Price, 2013; Sagiv *et al.*, 2006; Seron *et al.*, 1992; cf. section 3.3.3 page 107 pour plus de détails sur les théories relatives à l'apprentissage de la synesthésie). Si la représentation visuo-spatiale de la séquence numérique est une forme d'imagerie mentale chez les synesthètes, ces derniers devraient être meilleurs que les autres individus pour manipuler des objets mentalement du fait de leur capacité à orienter volontairement leur Forme en fonction de la tâche. Cela peut être vu comme un entraînement quotidien que n'auraient pas les participants non synesthètes (Eagleman, 2009; Galton, 1880; Havlik *et al.*, 2015; Jarick *et al.*, 2011; Seron *et al.*, 1992; Simner *et al.*, 2009b). Price (2009a) et Bächtold et ses collaborateurs (Bächtold *et al.*, 1998) ont observé chez certaines personnes non synesthètes les mêmes réponses comportementales que les synesthètes lorsque les instructions demandent une certaine représentation mentale.

L'expérience d'imagerie mentale en général paraît effectivement plus forte chez les synesthètes que dans la population générale (Price, 2009a; Simner *et al.*, 2009b).

Les 15 synesthètes de Séquence-Spatiale (i.e. synesthètes associant des jours, des mois, des lettres ou des nombres à une position spatiale) de l'étude de Havlik et collaborateurs (Havlik *et al.*, 2015) ont un score plus élevé que les 15 sujets contrôles (d'après les résultats à un questionnaire d'intensité d'imagerie mentale appelé SUIS, de Kosslyn, Chabris, Shephard et Thompson, 1998, composé de 12 questions, chacune évaluée sur une échelle de 1 à 5); ils considèrent avoir une plus forte imagerie mentale. Ces résultats sont-ils dus à de réelles capacités supérieures ou les synesthètes sont-ils plus à même de sonder leur capacité d'imagerie mentale? Cette différence entre les auto-évaluations des synesthètes et des participants contrôles est aussi interrogée dans la recherche de Price (2009a). Trois questionnaires sont utilisés pour interroger 12 synesthètes de Séquence Spatiale et 24 contrôles; deux d'entre eux focalisent sur l'imagerie mentale visuelle, et le dernier sur les images mentales spatiales. En plus du SUIS utilisé dans l'expérience décrite ci-dessus, deux sous-parties du "Object-Spatial Imagery Questionnaire" (OSIQ; Blajenkova *et al.*, 2006), qui sont composées de quinze questions évaluées sur une échelle de 1 à 5, sont utilisées; chacune est spécialisée dans un des deux types d'imagerie mentale d'intérêt (i.e. visuelle et spatiale). Les synesthètes auto-évalués donnent plus de force à leur imagerie mentale visuelle que les contrôles (quel que soit le questionnaire), mais considèrent leur imagerie spatiale de la même manière. Il semblerait alors possible que la synesthésie de Séquence-Spatiale soit liée à l'imagerie mentale mais seulement visuelle. Les séquences pourraient être considérées non pas comme la somme de leurs membres positionnés dans l'espace mais comme une représentation visuelle unie. Utiliser un test comportemental objectif plutôt qu'un questionnaire d'auto-évaluation permettrait de vérifier ces hypothèses. Price (2009b) a demandé à 5 synesthètes organisant les mois dans l'espace de naviguer dans la séquence mensuelle, et de dire le nom du mois qui est soit à une certaine position après celui qui est présenté, soit avant, et de retenir simultanément la localisation et l'ordre d'une série de points présentés à l'écran après la première tâche. Cette seconde tâche servait à impliquer la mémoire spatiale afin de vérifier son implication dans la synesthésie Séquence-Spatiale. Les synesthètes n'étaient pas meilleurs que les participants-contrôles à cette double tâche mais n'étaient pas non plus plus mauvais que les contrôles lors de leurs réponses. L'auteur en conclut que les meilleures réponses des synesthètes ne sont pas liées à une meilleure ima-

gerie spatiale mais pourraient être dues à une meilleure imagerie visuelle. Havlick et ses collaborateurs (2015) ont utilisé une tâche de rotation mentale (Shepard et Metzler, 1971) afin de tester plus spécifiquement le niveau d'imagerie mentale chez les synesthètes. Le participant avait pour consigne de comparer le plus rapidement possible les deux formes en trois dimensions apparaissant à l'écran et de décider si ces formes étaient les mêmes mais orientées différemment ou bien des images en miroir dont l'une était disposées autrement. Les synesthètes étaient meilleurs que les contrôles à cette tâche, sans pour autant être moins rapides. Au niveau des synesthètes, les participants se décrivant comme *projecteurs* (par l'intermédiaire du questionnaire dédié aux synesthètes de Séquence-Spatiale développé par Rouw et Scholte, 2007) avaient de meilleures performances à la tâche de rotation de formes que les individus *associateurs* et disaient avoir une meilleure imagerie mentale. La rotation mentale peut être considérée comme une faculté de l'imagerie mentale spatiale (Havlik *et al.*, 2015). Si c'est vraiment le cas, les résultats de cette dernière étude remettent en cause les hypothèses de la précédente (Price, 2009a). Mais cette tâche pourrait aussi être reliée à une forte imagerie mentale visuelle (Logie, 2011, cité dans Simner, 2013b). Le lien entre imagerie mentale et la synesthésie de formes de nombres en particulier reste encore à préciser et à généraliser aux autres types de synesthésie, en lien avec l'avancée des connaissances, toujours en construction, sur l'imagerie mentale à part entière (Pearson et Kosslyn, 2015).



En résumé

Il existe une soixantaine de types différents de synesthésie ; trois sont étudiés dans cette thèse : Graphème-Couleur, Graphème-Personnalité et Forme des nombres.

La synesthésie Graphème-Couleur est le type le plus examiné ; les chercheurs s'appuient largement dessus pour définir les caractéristiques de l'expérience synesthésique en général. Son inducteur, le *Graphème*, peut se rapporter à différents concepts ; nous l'emploierons dans cette thèse pour désigner le concept global des lettres de l'alphabet et les chiffres de 0 à 9.

Les associations Graphème-Personnalité et Forme des nombres paraissent être, elles aussi, parmi les types les plus répandus ; elles sont pourtant moins étudiées. Les chercheurs ont dû commencer par attester leur caractère synesthésique en s'appuyant sur la définition donnée par la littérature de la synesthésie Graphème-Couleur et en testant différentes procédures expérimentales pour vérifier l'application de cette définition aux associations Graphème-Personnalité et Forme des nombres. L'étude de la synesthésie Graphème-Personnalité, est notamment passée par l'examen des associations Graphème-Genre.

Le caractère idiosyncrasique de la synesthésie n'empêche pas l'observation de régularités dans les associations synesthésiques, quel qu'en soit le type. La généralisation de ces régularités à une population d'enfants pourrait permettre d'examiner le rôle de l'environnement et des apprentissages sur les associations, et ainsi répondre à la question des origines de cette particularité.

Origines de la synesthésie

L'origine de la synesthésie reste actuellement incertaine. Plusieurs hypothèses, prenant différents points de vue, existent pour tenter de conceptualiser l'origine et le développement de cette condition. Toutes s'accordent à dire que cette particularité se développe dès l'enfance et peut perdurer ou non à l'âge adulte. Les trois hypothèses majeures dans la littérature scientifique actuelle sont les hypothèses génétique, neuronales et d'apprentissage. Deux grands thèmes les rassemblent, ou au contraire les séparent : la place des mécanismes sous-jacents, les associations Inducteur-Concurrent. Pour certaines d'entre elles, la synesthésie prend appui sur des mécanismes communs à tous. Pour d'autres, cette condition est particulière et nécessite des mécanismes différents.

3.1 Hypothèse génétique

Dès les premières études sur la synesthésie, l'hypothèse de la transmission de cette condition d'une génération à l'autre est posée (Calkins, 1895; Galton, 1883; Patrick, 1893). Le manque de capacités techniques pour la tester a cependant limité les recherches jusqu'à très récemment (Asher et Carmichael, 2013). Différentes méthodes sont utilisées telles que les études sur le nombre de synesthètes au sein d'une même famille (Barnett *et al.*, 2008; Ward et Simner, 2005), le séquençage du génome des synesthètes (Asher *et al.*, 2009; Tomson *et al.*, 2011) ou le comportement de jumeaux monozygotes (Bosley et Eagleman, 2015; Hancock, 2006; Smilek *et al.*, 2002).

3.1.1 L'hypothèse du chromosome X

Les premières études s'intéressant à la synesthésie et à sa fréquence (Baron-Cohen *et al.*, 1996; Galton, 1883; Seron *et al.*, 1992) et les résultats de recherches

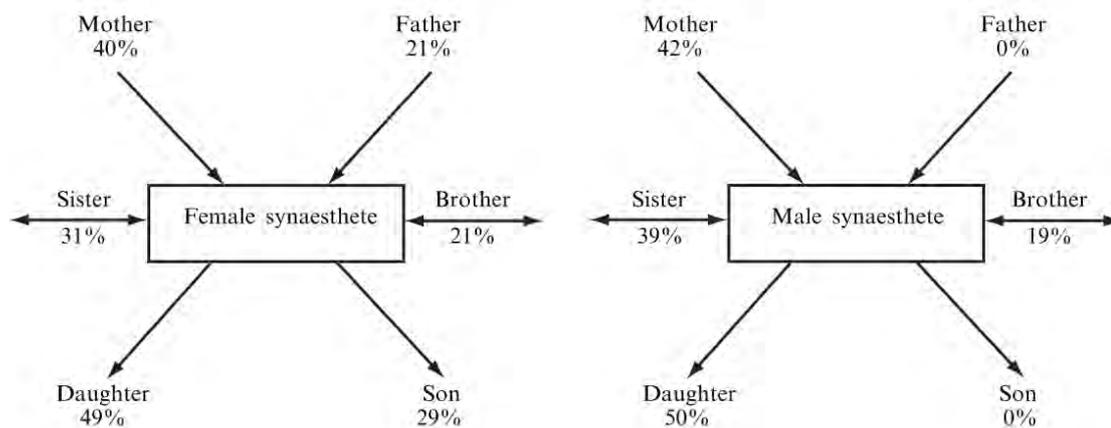


Fig. 3.1: Schématisation des observations concernant la transmission de la synesthésie Graphème-Couleur tirée de l'étude de Ward et Simner (2005). Les pourcentages représentent la proportion des membres de la famille proclamant être synesthètes Graphème-Couleur.

constituées exclusivement de synesthètes (Barnett *et al.*, 2008; Day, 2005; Rich *et al.*, 2005) mettent en avant une différence homme/femme dans la population synesthète (cf. section 1.2, page 25). D'après ces résultats et l'absence d'observation attestant d'une passation de cette condition d'un père à son fils, l'hypothèse de sa transmission par l'intermédiaire du chromosome X est alors posée (Baron-Cohen *et al.*, 1996). La synesthésie serait portée par un allèle dominant qui serait létal chez l'homme, entraînant la mort in utero des garçons portant l'allèle de la synesthésie (Baron-Cohen *et al.*, 1996). Cette dernière hypothèse est basée sur l'observation effectuée par Baron-Cohen (1996) sur six familles de personnes synesthètes : non seulement les synesthètes sont plus souvent des femmes, mais ces familles étaient aussi constituées majoritairement de femmes.

Ward et Simner (2005) se sont basés sur cette dernière étude pour tester l'hypothèse de la transmission de la synesthésie par un allèle présent sur le chromosome X et de l'aspect létal de cet allèle chez l'homme, en considérant un plus grand nombre de familles ($N = 85$). Ils retrouvent eux-aussi une différence du nombre de synesthètes selon le sexe. Cette condition paraît se transmettre plus souvent chez les femmes (Figure 3.1). En revanche, les auteurs observent la transmission de la synesthésie à travers la lignée d'un homme, fragilisant ainsi l'hypothèse que

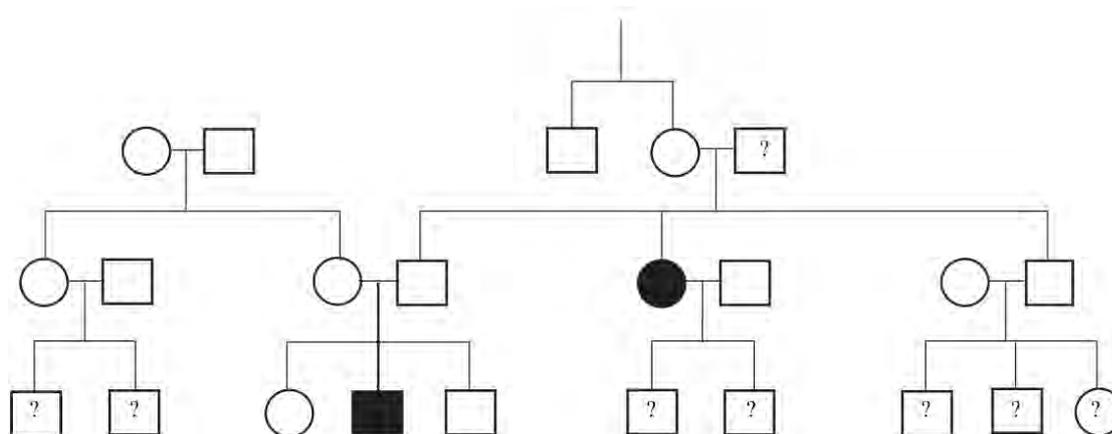


Fig. 3.2: Schématisation de l'arbre généalogique du synesthète R. tirée de l'étude de Ward et Simner (2005). Les carrés représentent les hommes, les ronds les femmes. Les formes pleines correspondent aux synesthètes déclarés et les points d'interrogation aux individus dont l'expérience associative est inconnue.

l'allèle sur le chromosome X portant cette condition serait létal chez l'homme (Figure 3.2 représentant la famille du synesthète R. dont seulement la tante paternelle est synesthète). Les études plus récentes analysant la prévalence de la synesthésie ont mis en avant un biais de recrutement des synesthètes dans les précédentes études, expliquant un nombre plus importants de synesthètes femmes (Simner et Carmichael, 2015; Simner *et al.*, 2006b; cf. Section 1.2, page 25), fragilisant ainsi l'hypothèse de transmission de la synesthésie par l'intermédiaire du chromosome X (Asher et Carmichael, 2013).

3.1.2 Les prémices de l'étude du génome : recherche sur la filiation

L'étude de familles de synesthètes constitue les prémices des études de l'hypothèse de la transmission génétique de la synesthésie (Barnett *et al.*, 2008; Baron-Cohen *et al.*, 1996; Galton, 1883). Barnett et ses collaborateurs (Barnett *et al.*, 2008) vont utiliser cette technique pour déterminer la prévalence des différents types de synesthésie dans une même famille (i.e. leur nombre et les différents inducteurs par synesthète d'une même famille) et les caractéristiques générales de la synesthésie entre les synesthètes d'une même famille. Ils vont donc interroger

53 synesthètes auxquels ils vont demander les contacts des personnes de leur famille. Au total, 90 de leur parents vont être questionnées : 35 synesthètes signalés comme tels par les synesthètes premièrement interrogés et vérifiés par l'intermédiaire d'un test de constance, et quatre membres de leur entourage initialement signalés comme non synesthètes (sur 51 individus premièrement considérés comme non synesthètes). En tout, 64 participants ont été considérés comme synesthètes suite au test de constance (i.e. les 53 synesthètes de départ et onze membres de leur famille) ; 17 familles complètes ont pu passer le test de constance (i.e. le synesthète de départ et tous les membres de sa famille au premier degré). Les participants interrogés devaient répondre à un questionnaire permettant de déterminer s'ils étaient synesthètes et quel type de synesthésie ils avaient. A la suite de cela, un autre questionnaire plus conséquent leur faisait détailler leur expérience synesthésique. Parallèlement, un test de constance permettait de vérifier objectivement leurs dires (avec un test et un « retest » espacé de 3 à 12 mois).

Concernant la différence homme/femme, au premier abord, il paraît effectivement qu'il y ait plus de femmes que d'hommes synesthètes dans l'étude, mais en observant plus précisément la transmission de la synesthésie à partir des femmes synesthètes du départ, on retrouve un taux similaire de synesthètes entre filles et fils (les 25 mères synesthètes transmettront leur particularité à 35 filles et 32 fils). Parmi les synesthètes, la majorité associe des inducteurs linguistiques à des couleurs. 73% ont une synesthésie d'un seul type (dans tous les cas ils associent un inducteur linguistique à de la couleur), mais apparaissent des différences de nature (pas les mêmes associations, pas le même nombre d'inducteurs). Il ne paraît pas y avoir plus d'associations partagées au sein d'une même famille qu'entre les synesthètes d'un même type mais de familles différentes. Au total, 42% des synesthètes ont un autre synesthète dans leur famille et même si la prévalence était de 1 pour 20 dans la population générale (taux le plus élevé ayant été observé dans les recherches de prévalence), la chance que la co-apparition dans la même famille soit la même paraît donc vraiment très peu probable. Pour Barnett et ses collaborateurs (2008) cette observation est une preuve en faveur de l'hérédité de la synesthésie, ou du moins de sa prédisposition. Le fait que plusieurs variantes de la synesthésie existent dans une même famille suggérerait que toutes les formes de synesthésies partagent un même mécanisme sous-jacent. Pour les auteurs, la culture et l'éduca-

tion ne peuvent pas être en jeu dans la transmission de la synesthésie puisque dans une même famille les synesthètes n'ont pas le même type de synesthésie ou pas les mêmes associations (pas plus qu'entre synesthètes de familles différentes). Mais les grandes différences interindividuelles au sein même d'une famille marqueraient l'impact de l'expérience individuelle sur la manifestation et le développement de cette particularité.

3.1.3 Le séquençage du génome humain

Grâce aux progrès techniques, les chercheurs ont pu directement étudier le génome humain (Asher *et al.*, 2009; Tomson *et al.*, 2011).

Asher et ses collaborateurs (2009) ont été les premiers à expérimenter cette technique dans le cadre de la synesthésie (Asher et Carmichael, 2013). Quarante-trois familles de synesthètes Audio-Visuel ont été interrogées, soit 196 personnes dont 121 déclarent avoir ce type de synesthésie et 68 non synesthètes (déclarations vérifiées par un test de constance). Aucune association de la synesthésie avec le chromosome X n'a été démontrée, quelle que soit la méthode utilisée (trois méthodes ont été utilisées par les auteurs pour déterminer les gènes impliqués dans cette condition). Pour la première fois, les auteurs ont pu observer deux lignées de synesthètes dont la transmission se serait effectuée de père en fils, fragilisant encore une fois l'hypothèse de l'implication du chromosome X. Plusieurs gènes paraissent impliqués dans la transmission de cette condition ; la transmission génétique de la synesthésie paraît plus complexe que ce qu'avaient imaginé les premières études. Il pourrait exister plusieurs modes de transmission, dépendant de différents loci. L'un des marqueurs paraissant être le plus en cause dans la synesthésie serait aussi impliqué dans l'autisme. Or, des liens ont déjà pu être mis en avant par certains auteurs entre autisme et synesthésie (Bouvet *et al.*, 2014). Dans ces deux conditions, les chercheurs ont pu faire l'hypothèse d'une augmentation des connexions neuronales (cf. Section 3.2 page 86 concernant la synesthésie ; Asher et Carmichael, 2013; Asher *et al.*, 2009). Des recherches complémentaires sont cependant nécessaires pour établir la nature de ce lien et son existence réelle. Les autres loci observés dans cette étude se retrouvent impliqués dans le développement du cortex et dans les connexions neuronales, ou encore dans certaines difficultés lan-

gagières tels que la dyslexie, les processus orthographiques et les difficultés de décodage phonologique. Enfin le chromosome 12 serait aussi lié à la consolidation de l'apprentissage et des souvenirs. Cette étude ne peut donc pas, pour le moment, départager les différentes hypothèses concernant le développement de la synesthésie puisque les gènes considérés ici comme impliqués dans la transmission de la synesthésie le sont aussi dans le développement des connexions neuronales (cf. les hypothèses neuronales et neuro-développementales, section 3.2 page 86, et d'apprentissage 3.3, page 97).

Tomson et ses collaborateurs (2011; 2013) utilisent la même technique pour analyser des familles de synesthètes Séquence-Couleur (i.e. l'inducteur pouvait être des jours de la semaine, des mois, des lettres ou des nombres). Cinq familles de plus de quatre personnes synesthètes Séquence-Couleur ont participé à l'expérience. Un test de constance a permis d'attester de la présence ou non de cette condition chez chacun des membres de la famille, soit un total de 48 individus (24 personnes synesthètes et 24 non synesthètes). Les résultats ne sont pas les mêmes en fonction des familles étudiées. Seules deux familles paraissent transmettre la synesthésie par le gène 16q, laissant penser aux auteurs que ce type de synesthésie est une condition hétérogène. Aucun gène considéré comme impliqué dans la synesthésie Audio-Visuelle (Asher *et al.*, 2009) n'est ressorti à l'analyse de ces familles de synesthètes Séquence-Couleur; la synesthésie paraît être transmise de façon différente dans et entre les divers types de cette condition. Les différents types de synesthésie pourraient être classés en sous-groupes qui dépendraient du même gène, ce qui expliquerait des co-occurrences plus importantes que d'autres, et des résultats différents entre les études traitant du génome de types de synesthésies diverses (Asher et Carmichael, 2013; Asher *et al.*, 2009; Novich *et al.*, 2011; Simner *et al.*, 2006b; Tomson *et al.*, 2011).

3.1.4 L'étude des jumeaux monozygotes

L'observation des associations effectuées par des jumeaux monozygotes (i.e. frères ou sœurs partageant le même matériel génétique à la naissance) est une autre façon de tester la part du génétique et de l'apprentissage dans la synesthésie (Barnett *et al.*, 2008; Bosley et Eagleman, 2015; Hancock, 2006; Smilek *et al.*,

2005, 2002).

Smilek et ses collaborateurs (Smilek *et al.*, 2002) ont décrit le cas de deux sœurs jumelles monozygotes E.B. et J.B. dont seulement une des deux s'est révélée être synesthète Chiffre-Couleur. Pour attester de la présence de cette condition chez seulement une des deux sœurs (E.B.), les auteurs ont utilisé une tâche de Stroop adaptée à sa synesthésie (cf. Encadré section 1.1.1 page 12 pour un rappel de cette tâche); E.B. répond moins vite lors de la condition différente par rapport à la condition congruente, contrairement à J.B. qui paraît y répondre à la même vitesse. Cette observation démontre la possibilité qu'un seul des jumeaux monozygotes présente une synesthésie alors que les deux enfants ont le même code génétique. Les auteurs émettent alors l'hypothèse que les deux enfants auraient une prédisposition à cette condition qui ne se dévoilerait que chez l'un d'entre eux du fait de la présence du gène impliqué sur le chromosome X. En effet ce chromosome étant en deux exemplaires chez les femmes, un seulement s'activerait et l'autre serait inactivé. Chez les jumelles monozygotes, un chromosome X différent serait inactivé, rendant possible l'inactivation de la synesthésie chez l'une d'entre elle et pas chez l'autre. Cette hypothèse a cependant été infirmée par Smilek et ses collaborateurs en (2005) suite à l'observation d'un couple de frères jumeaux monozygotes dont l'un était synesthète mais pas l'autre. J.W.B. et Z.J.B., des enfants de 10 ans, n'expérimentent pas les mêmes choses puisque J.W.B. colore différentes séquences, alors que son frère ne paraît pas faire d'associations synesthésiques (observation confirmée par trois tests de constance). L'activation ou l'inactivation du chromosome X ne peut donc pas être incriminée dans le développement de la synesthésie. Les hommes n'ont qu'un seul chromosome X nécessairement actif. Cette observation fragilise aussi l'hypothèse du X dominant puisque dans ces cas là les deux garçons devraient développer cette condition. Les auteurs émettent alors l'hypothèse de facteurs environnementaux. Des facteurs génétiques pourraient aussi exister sur des gènes liés au développement cérébral. Il aurait déjà été observé des différences de morphologie cérébrale chez des jumeaux monozygotes (Casanova, 1990a, 1990b cités dans Smilek *et al.*, 2005).

Une étude plus récente interroge un plus grand nombre de couples de jumeaux monozygotes et dizygotes (Bosley et Eagleman, 2015). 34 paires de jumeaux dont au moins 1 individu est synesthète Séquence-Couleur ont été interrogés. 23 paires sont

monozygotes (21 femmes et 2 hommes), 11 sont dizygotes (3 femmes, 1 homme et 7 mixtes). Chaque participant a passé un test de constance. Parmi tous les participants, 17 paires de jumeaux monozygotes étaient concordantes (soit 73,9%) et six différentes. Pour les auteurs, l'existence de ces six paires de jumeaux monozygotes différentes dans l'expression de la synesthésie impliquerait des facteurs environnementaux. Cette idée serait appuyée par le fait que Bosley et ses collègues (Bosley et Eagleman, 2015) ne remarquent pas de différence dans le nombre de paires concordantes et discordantes dans l'expression de la synesthésie entre les participants monozygotes et dizygotes. Il existerait donc des dispositions génétiques qui nécessiteraient l'appui de facteurs environnementaux pour activer et développer la synesthésie.

3.2 Hypothèses neuronales et neuro-développementales

Depuis le début des recherches sur la synesthésie (Flournoy, 1893), la question des mécanismes neuronaux se pose. Mais les recherches sur ce sujet n'ont pu réellement commencer que depuis le développement des techniques d'imagerie cérébrale (IRMf, PET scan, etc.; Hubbard, 2013). Différents modèles cognitifs, basés sur diverses hypothèses neuronales, principalement établis à partir d'observations de synesthètes Graphème-Couleur ont alors pu voir le jour.

3.2.1 Les modèles cognitifs et hypothèses neuronales

Les modèles cognitifs tentant de décrire les mécanismes sous-jacents de la synesthésie peuvent être catégorisés en deux groupes : les modèles *structurels*, dans lesquels des connexions supplémentaires relient une aire corticale à une autre chez les synesthètes, et les modèles *fonctionnels*, qui considèrent que les mêmes connexions existent chez synesthètes et non synesthètes mais certaines sont inhibées dans la population générale et ne le sont pas entre les aires corticales impliquées dans le traitement de l'inducteur (e.g. les graphèmes) et du concurrent (e.g. la couleur) chez le synesthète (Mitchell, 2013). Trois modèles majeurs existent : la théorie d'*activations croisées*, la théorie du *retour de l'information désinhibée* et la théorie du *retour de l'information ré-entrante* (Hochel et Gomez Milan, 2008; Mitchell,

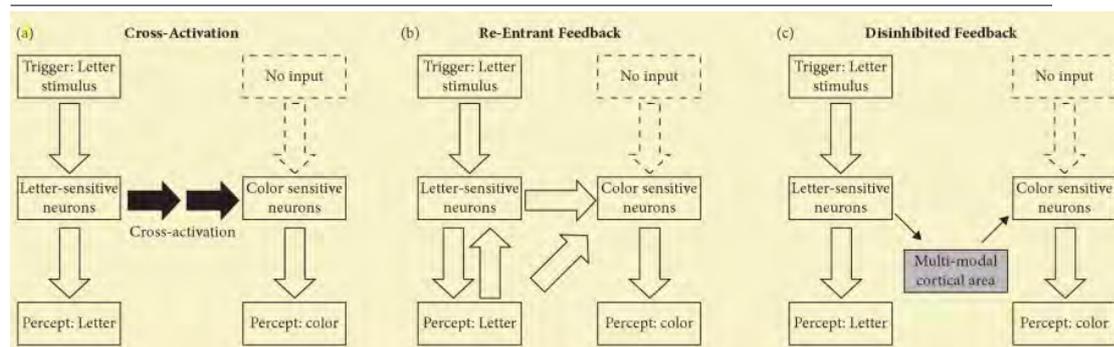


Fig. 3.3: Schématisation des trois modèles majeurs actuels concernant le fonctionnement neuronal de la synesthésie, à partir de l'exemple de la synesthésie Graphème-Couleur, (tiré de Hubbard, 2013). Les flèches représentent le flux d'informations et les encadrés marquent les étapes procédurales. Lorsque les lignes sont en pointillés, les processus et étapes concernés ne sont pas actifs.

2013). Chacune de ces théories prend appui sur une hypothèse neuronale.

Le modèle d'activations croisées

Dans la *théorie d'activations croisées* (en anglais « cross-activation » ou « local cross-activation » ; Figure 3.3 schéma a) proposée par Hubbard et Ramachandran (Hubbard *et al.*, 2011; Hubbard et Ramachandran, 2005; Ramachandran et Hubbard, 2001a,b, 2003), chez les synesthètes, des connexions existeraient en plus grand nombre entre les modalités ou sous modalités sensorielles impliquées dans les associations synesthésiques. La synesthésie aurait alors plus de chance d'exister entre deux régions voisines, comme ce serait le cas pour les aires du traitement des graphèmes et de la couleur dans la synesthésie Graphème-Couleur. Les différences inter-individuelles observées dans la description de l'expérience synesthésique et dans les données comportementales dépendraient du lieu où ces connexions se font (Hubbard et Ramachandran, 2005; Ramachandran et Hubbard, 2001a,b).

Le modèle du retour de l'information désinhibée

Dans la théorie du retour de l'information désinhibée (en anglais « disinhibited feedback » ; Figure 3.3 schéma c), Grossenbacher et Lovelace (Grossenbacher, 1997; Grossenbacher et Lovelace, 2001) émettent l'idée que l'expérience synesthé-

sique additionnelle dépendrait d'un manque d'inhibition du réseau multisensoriel présent chez tous les individus. De manière générale, parallèlement au traitement d'informations sensorielles qui suit un circuit précis, allant des aires de plus bas niveau (i.e. traitant des indices simples) aux aires de plus haut niveau (i.e. traitant des indices plus complexes, mettant en relation les indices simples traités séparément jusqu'à présent), les aires de plus haut niveau envoient des informations aux aires de plus bas niveau (Gleitman *et al.*, 2007; Grossenbacher et Lovelace, 2001). C'est ce qui est appelé traitement « de bas en haut ou d'intégration de l'information » (en anglais "feedforward") et « de haut en bas, de rétroaction ou de retour de l'information » (en anglais "feedback"). Chez les synesthètes, l'information venant des aires sensorielles supérieures habituellement inhibées, ne le serait pas chez les synesthètes, activant ainsi le percept additionnel (e.g. la couleur dans le cadre de la synesthésie Graphème-couleur). La synesthésie dépendrait donc du réseau de traitement de l'information sensorielle présent chez tous les individus.

Le modèle du retour de l'information ré-entrante

La dernière théorie cognitive majeure est le modèle du retour de l'information ré-entrante ("re-entrant feedback"; Figure 3.3 schéma b) émise par Smilek et ses collaborateurs (2001). Elle se situe aux confluences des deux autres hypothèses présentées ci-dessus. En effet, ses auteurs considèrent que des connexions existeraient entre les deux aires cérébrales responsables du traitement des informations sensorielles présentes dans l'expérience synesthésique (i.e. traitement des informations caractérisant l'inducteur et le concurrent, tels que le graphème et la couleur dans le cas de la synesthésie éponyme). Ce système de connexions croisées similaire à celui présenté dans la théorie de Ramachandran et Hubbard (Hubbard et Ramachandran, 2005; Ramachandran et Hubbard, 2001a) se couplerait à des processus de retour de l'information similaire aux mécanismes décrits dans la théorie de Grossenbacher et Lovelace (Grossenbacher et Lovelace, 2001; Hubbard, 2013; Smilek *et al.*, 2001), puisque c'est le sens lié au graphème qui induirait la couleur et non seulement la perception de ce dernier en tant que telle (Smilek *et al.*, 2001).

Le développement neuronal des synesthètes

Ces différentes théories expliquent la synesthésie à l'âge adulte sans prendre en considération son développement (Mitchell, 2013). L'hypothèse neuronale la plus répandue à ce jour postule que, suite à un changement dans un facteur génétique (cf. section 3.1 page 79), le mécanisme d'étayage supprimant les connexions transitoires mises en place par le nouveau-né lors du développement normal de l'individu ne serait pas effectué chez les synesthètes entre certaines régions proches (Hubbard, 2013). Cette hypothèse peut soutenir les théories d'activation croisée (Hubbard et Ramachandran, 2005; Ramachandran et Hubbard, 2001a,b) et du retour de l'information ré-entrante (Smilek *et al.*, 2001). Ces mutations génétiques pourraient aussi toucher des mécanismes encore plus précoces dans le développement neurodéveloppemental et entraîner des différences de migration de cellules, de guidage d'axones ou encore de choix des cibles synaptiques (Mitchell, 2013), ce qui ne serait pas non plus en contradiction avec les deux théories citées ci-dessus. Enfin, la théorie de désinhibition du retour de l'information (Grossenbacher, 1997; Grossenbacher et Lovelace, 2001) et une partie de la théorie du retour de l'information ré-entrante (Smilek *et al.*, 2001) pourraient s'appuyer sur l'hypothèse que des mutations sur les gènes déterminent l'équilibre neuro-chimique des inhibitions et excitations dans certains circuits cérébraux (Mitchell, 2013).

Toutes ces hypothèses, cognitives ou neuronales restent cependant à être démontrer ; aucun consensus n'existe à l'heure actuelle, que ce soit entre les études comportementales ou les études neurophysiologiques (grâce aux techniques d'imagerie cérébrale comme l'imagerie à résonance magnétique ou la tomographie à émission de positons ; Hupé et Dojat, 2015; Mitchell, 2013).

Une autre théorie très répandue dans la littérature scientifique actuelle intègre à la fois des hypothèses sur le développement comportemental et sur l'évolution neurologique de l'individu synesthète en comparaison à la personne synesthète : l'hypothèse néonatale (Maurer et Maurer, 1988).

3.2.2 Hypothèse néonatale

En s'appuyant sur des études effectuées chez le nouveau-né et sur les descriptions données par le synesthète S. à l'âge adulte (Luria, 1969 cité dans Maurer

et Maurer, 1988), Daphné et Charles Maurer (1988) émettent l'hypothèse que la synesthésie est une condition présente dès l'enfance et chez tous les nouveaux-nés.

Description de l'hypothèse néonatale

D'après l'hypothèse néonatale, la synesthésie est un stade de développement normal chez tous les individus (Maurer et Maurer, 1988). Maurer et Mondloch (2005) considèrent que ce mélange de sensations, qui peut être rapproché des associations cross-modales de l'adulte non-synesthète, serait en fait le résultat de perceptions synesthésiques. Au début de son développement, le bébé ne séparerait pas les sensations les unes des autres mais les assimilerait en une sensation mélangée (Maurer et Maurer, 1988). Dans la forme la plus robuste de ce stade, le nouveau-né ressemble particulièrement aux adultes synesthètes ; une stimulation dans un sens particulier (e.g. l'ouïe) évoque un percept dans un autre (e.g. la vision ; Maurer et Mondloch, 2005). Dans la forme faible, le bébé ne différencierait pas les stimuli des différentes modalités, mais répondrait à un certain taux d'énergie additionnée à travers toutes les modalités. Le bébé ne saurait pas quelle modalité sensorielle produit le stimulus et n'expérimenterait qu'un seul percept, et non deux comme les adultes, mais serait plus sensible aux ressemblances entre les modalités sensorielles (Maurer et Mondloch, 2005). Dans aucune des deux formes le bébé ne serait capable de différencier les perceptions réelles des perceptions synesthésiques illusoires, contrairement à l'adulte synesthète, du fait de l'immaturité de son cortex. Le développement du bébé se ferait donc en plusieurs phases :

1. un stade synesthésique où tous les sens répondraient ensemble aux stimuli sensoriels, quelle que soit la modalité d'entrée du stimulus sensoriel de départ. Aucune différenciation ne serait possible pour le nouveau-né entre ses différents sens (Maurer et Mondloch, 2005). Le développement cérébral serait caractérisé, lors de ce stade, par un accroissement exubérant de connexions inter-neurones transitoires (via une production importante de synapses ; Maurer *et al.*, 2013).
2. une phase dans laquelle la sensibilité des bébés à ce mélange sensoriel va progressivement diminuer du fait de l'étayage et l'inhibition des connexions transitoires et du renforcement des réseaux neuronaux régulièrement stimu-

lés. Ces mécanismes permettraient alors la spécialisation sensorielle corticale (Maurer *et al.*, 2013; Maurer et Mondloch, 2005). Une trace de ces anciennes connexions entre les sens serait visible à travers les associations cross-modales intuitives chez l'adulte non-synesthète dont elles seraient la cause (Maurer *et al.*, 2013; Spector et Maurer, 2009). Chez les adultes synesthètes, au contraire, l'étalement synaptique serait moins important entre certains sens, entraînant des hyper-connectivités entre des régions sensorielles différentes (Maurer *et al.*, 2013; Ramachandran et Hubbard, 2001a,b), comme c'est le cas pendant l'enfance, et ces connexions restantes seraient moins inhibées que dans la population générale (Grossenbacher et Lovelace, 2001; Maurer *et al.*, 2013).

Cette hypothèse est soutenue par d'autres auteurs, comme Baron-Cohen (Baron-Cohen, 1996). D'après Maurer (2013) cette hypothèse pourrait expliquer les résultats de diverses études ayant fait l'hypothèse d'hyper-connexions entre des aires cérébrales proches (Simner *et al.*, 2005 ou Spector et Maurer, 2009, pour une revue), et portant sur l'observation de plusieurs formes de synesthésie chez un même synesthète (Novich *et al.*, 2011).

Les résultats comportementaux en faveur de cette hypothèse

Pour défendre l'hypothèse néonatale au niveau comportemental, Maurer et ses collaborateurs et d'autres chercheurs s'appuient particulièrement sur la présence d'associations cross-modales chez des enfants de différentes tranches d'âge (Maurer *et al.*, 2013; Maurer et Mondloch, 2005; Maurer *et al.*, 2006; Spector et Maurer, 2008, 2009, 2011; Walker *et al.*, 2010), et sur les études concernant la plasticité neuronale suite à une cécité chez l'adulte (Maurer et Mondloch, 2005) et chez l'enfant (Lewis et Maurer, 2005).

En plus de ces recherches, l'étude de Wagner et Dobkins (2011) appuie l'hypothèse néonatale en sollicitant des enfants de deux, trois ou huit mois (quinze bébés par tranche d'âge) et en comparant leur réponse à seize adultes non-synesthètes contrôles entre 18 et 23 ans. Pour s'intéresser plus particulièrement à la synesthésie Graphème-Couleur chez le nouveau-né, les chercheurs présentent aux participants des formes (triangles et ronds) et deux paires de couleurs contraires (rouge et vert

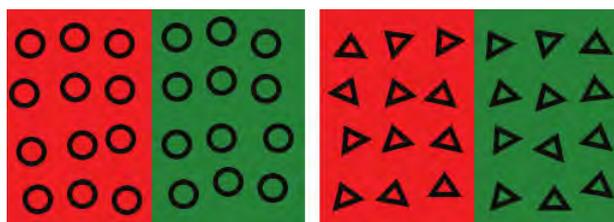


Fig. 3.4: Exemple de stimuli utilisé dans l'étude de Wagner et Dobkins (2011). Vingt-quatre formes (des triangles ou des cercles) étaient présentés sur un fond de couleur, soit rouge d'un côté et vert de l'autre, soit bleu d'un côté et jaune de l'autre. La couleur était présentée d'un côté ou de l'autre de l'écran de manière aléatoire d'un essai à l'autre.

ou bleu et jaune; pour un exemple de stimuli, cf. Figure 3.4). L'utilisation de formes est basée sur une seconde hypothèse postulant que la reconnaissance des formes chez l'enfant serait le précurseur de la reconnaissance des lettres et des chiffres à l'âge adulte; elle se base sur l'idée que formes et graphèmes seraient traités par la même région du cortex visuel, et que la forme des lettres affecterait l'association synesthésique Graphème-Couleur (Brang *et al.*, 2011). Pour déterminer le côté observé en premier par le participant dans chaque essai, les chercheurs ont utilisé une variante de la méthode du regard préférentiel à choix forcé (F.P.L.; Dobkins *et al.*, 2001) : une caméra est placée en face du visage de l'enfant et à chaque essai, le chercheur utilise des indices tels que les mouvements de tête ou des yeux pour juger. Un son produit par l'ordinateur permet à l'expérimentateur de savoir quand le changement d'essai a lieu. Les auteurs ont considéré le rapport entre les associations de la même couleur avec les deux formes : si ce rapport était plus petit que le niveau attendu par hasard, les bébés ne feraient pas d'associations synesthésiques. A l'inverse, un taux important soutiendrait l'hypothèse que les bébés privilégieraient une connexion. Wagner et Dobkins (2011) observent une préférence d'associations Forme-Couleur à deux mois dans le cadre d'un fond vert ou rouge et à trois mois pour la comparaison bleu-jaune. Ces associations préférentielles Forme-Couleur par rapport à ce que prévoit le critère de hasard ne sont pas retrouvées chez les enfants plus âgés. Dans le cas de la différence rouge-verte, les données sont dès trois mois en dessous de ce que prévoit le hasard alors que pour la bleu-jaune, les préférences Forme-couleur paraissent diminuer au fur et à mesure

que l'enfant grandit. Pour les auteurs ces résultats appuient l'hypothèse néonatale puisque la préférence Forme-couleur faite par les plus jeunes enfants marquerait le stade synesthésique de développement normal qui disparaîtrait chez les enfants un peu plus âgés et chez les adultes non-synesthètes.

Les limites de l'hypothèse néonatale

Malgré l'existence de divers résultats comportementaux en faveur de l'hypothèse néonatale, certains points restent à éclaircir.

En plus du nombre très restreint d'études s'intéressant à la synesthésie chez l'enfant dans le cadre de cette hypothèse (seulement l'étude de Wagner et Dobkins, 2011, les autres recherches citées ci-dessus observent majoritairement des associations cross-modales), il est difficile de répliquer certains résultats décrivant des associations privilégiées entre deux sens, notamment ceux de l'étude de Walker et collaborateurs (2010). Lewkowicz et Minar (2014) ont décrit leur tentative de réplique de cette recherche ; leur absence de résultats ne paraît pas être due à des différences dans la procédure expérimentale ou à un manque de puissance statistique. Les résultats de l'étude de Walker et collaborateurs (2010) seraient plutôt la marque de l'interaction entre fréquences visuelle et auditive des cibles et non de la perception de relations entre ton et hauteur ou ton et forme. Pour Lewkowicz et Minar (2014), la synesthésie ne serait pas, alors, une caractéristique inhérente du cerveau du nouveau-né ou un aspect inné de la perception.

Pour appuyer l'hypothèse néonatale, Maurer et ses collaborateurs (Maurer *et al.*, 2013) décrivent une étude longitudinale non publiée effectuée par Spector et Maurer chez 3 enfants de femmes synesthètes. Ces enfants auraient été suivis à 3,5, 3,75 et 4,5 ans. Ils devaient choisir parmi 96 crayons de couleurs le meilleur pour les 26 lettres de l'alphabet et les chiffres de 0 à 9. Il leur était présenté un graphème par jour et ce, six fois pour un enfant et trois fois pour les autres. Les enfants contrôles non-synesthètes du même âge ne faisaient que deux cycles de dix stimuli. Il y avait quatre participants contrôles par stimulus et moment de passation. Les parents faisaient passer les tests et rapportaient des commentaires apparemment très précis faits par leurs enfants sur le choix des couleurs et ce pour chaque graphème.

Les enfants synesthètes paraissent plus constants que les contrôles (55% contre 0%) mais moins que ce qui est attendu chez les adultes. La constance paraissait augmenter avec l'âge (augmentation de 75% entre les deux derniers cycles entre 4,5 et 5,5 ans, contre une augmentation de 40% entre les deux premiers cycles entre 3,75 et 4,75 ans). Maurer et ses collègues (Maurer *et al.*, 2013) émettent l'idée que l'apprentissage des lettres et de la lecture altérerait les mises en place des correspondances. D'après elle, les différences de constance dans les premiers cycles sont mineures (e.g. passage de violet à rouge, de jaune à orange). Un test de connaissance des lettres fait en parallèle montrerait que la connaissance des lettres est minime au début des tests et complète à la fin. Au niveau de la mémorisation, deux des trois enfants synesthètes paraissent se rappeler bien mieux les lettres, chiffres, couleurs et formes que les enfants contrôles en mémoire immédiate et seulement un synesthète resterait meilleur que les contrôles avec un délai de cinq minutes. Mais les enfants synesthètes qui n'étaient pas meilleurs ont paru aux yeux des auteurs être ennuyés par la tâche, sans doute, d'après eux, à cause de sa longueur bien plus conséquente que pour les contrôles. L'accroissement du nombre d'associations synesthésiques au cours du développement a été observé dans d'autres études longitudinales avec un plus grand nombre d'enfants (Simner et Bain, 2013; Simner *et al.*, 2009a). Maurer et ses collègues (Maurer *et al.*, 2013) expliquent cet accroissement en émettant l'hypothèse que les perceptions synesthésiques resteraient stables chez l'individu synesthète (i.e. l'individu dont l'étagage neuronal et l'inhibition ne se feraient pas normalement) mais qu'elles seraient réorganisées et donc difficiles d'accès durant le temps des apprentissages (e.g. la lecture ou l'écriture). Il reste donc encore à démontrer que les associations intersensorielles observées chez le nouveau-né sont bien des associations synesthésiques et non des associations cross-modales (cf. dernier paragraphe ci-dessous; Deroy et Spence, 2013a,b). Une autre hypothèse plus simple expliquerait les changements dans la constance des associations synesthésiques : l'hypothèse d'apprentissage (cf. section 3.3, page 97).

D'un point de vue neuronal, cette hypothèse se base elle-même principalement sur des théories encore non consensuelles. Encore peu d'études ont pu décrire et expliquer les mécanismes mis en place par le jeune enfant pour traiter les informations multimodales (Dionne-Dostie *et al.*, 2015). Dès le premier mois, le nouveau-né se-

rait capable de percevoir et d'induire du sens à partir des abondantes informations multi-sensorielles à sa disposition (Dionne-Dostie *et al.*, 2015). Comme l'indique Maurer et ses collaborateurs (Maurer *et al.*, 2013; Maurer et Maurer, 1988; Maurer et Mondloch, 2005), plusieurs études ont observé l'existence de partage d'informations entre les différentes modalités sensorielles (Dionne-Dostie *et al.*, 2015, pour revue). Il existe cependant aussi une hypothèse contradictoire mettant en avant l'idée que l'intégration des informations multi-sensorielles ne serait pas un mécanisme inné mais acquis durant le développement de l'enfant et jusqu'à l'adolescence. Les changements cognitifs seraient continus du fait d'un va et vient constant entre les réseaux neuronaux sensoriels et moteurs, permettant ainsi l'adaptation (Dionne-Dostie *et al.*, 2015). Tous les sens ne se développent pas à la même vitesse et même l'intégration d'informations communes entre différentes modalités peut diverger en fonction des modalités impliquées, laissant penser que l'enfant doit apprendre à intégrer les informations multi-sensorielles au cours de son développement (Dionne-Dostie *et al.*, 2015; Lewkowicz et Röder, 2012). Si la vitesse de développement dépend des sens, certaines études avancent l'idée que la majorité des neurones sont rapidement positionnés à un endroit précis et que certaines régions sont déjà spécialisées par nature, même si l'environnement et l'expérience les définiront définitivement (Johnson, 2001, 2003; Thomas et Johnson, 2008). Or si, comme l'avancent Maurer et ses collaborateurs (Maurer *et al.*, 2013; Maurer et Maurer, 1988; Maurer et Mondloch, 2005; Spector et Maurer, 2009), les sens du nouveau-né étaient complètement mixés et indifférenciés, les neurones et aires cérébrales ne devraient pas être spécialisés, et l'enfant ne devrait pas avoir besoin de temps pour intégrer les informations multi-sensorielles. Les enfants ne pourraient pas faire de jugements en se basant uniquement sur un sens, comme cela a pourtant pu être observé notamment dans des tâches d'intégrations visuo-tactiles (Dionne-Dostie *et al.*, 2015).

Deroy et Spence (2013a; 2013b) soulignent certains autres points discutables dans l'hypothèse néonatale de Maurer et collègues (Maurer *et al.*, 2013; Maurer et Maurer, 1988; Maurer et Mondloch, 2005) : la place de la conscience et la confusion entre les sens qu'ils décrivent dans ce stade synesthésique de développement. Dans l'hypothèse néonatale, l'enfant commence sa vie dans une confusion des sens et des informations sensorielles, que ses auteurs rapprochent de l'étymologie grecque

du terme *synesthésie* qui est régulièrement traduit (Cytowic, 2002a; Eagleman, 2012; Robertson et Sagiv, 2004; Simner, 2012a) : « union des sens » ou « mélange des sens ». Pourtant la synesthésie est de plus en plus décrite comme une co-occurrence de deux sens ou deux modalités d'un même sens bien distincts (Deroy et Spence, 2013a,b) ; l'association supplémentaire est décrite comme étant *additionnelle* (Hupé, 2012; Simner, 2012a). On peut dès lors, par exemple, observer des modulations de la force de l'association entre ces deux sens en manipulant l'attention du synesthète (Mattingley *et al.*, 2001). Le deuxième point important à discuter pour Deroy et Spence (2013a; 2013b) est la place de la *conscience*. En effet, un adulte est considéré comme synesthète lorsque ces associations inter-sensorielles sont conscientes (Hupé, 2012; Simner, 2012a). Mais il est encore difficile, à l'heure actuelle, d'attester expérimentalement de la conscience du nouveau-né. Dans leur livre, Charles et Daphne Maurer (1988) décrivent la conscience comme une entité émergente au fur et à mesure que les connexions neuronales se créent dans le cortex ; au stade synesthésique de développement, le nouveau-né ne doit donc pas avoir conscience des associations qu'il effectue entre les sens (d'autant plus que ces dernières sont, toujours d'après cette théorie, unies en une seule et même perception). Cet exemple de distinction entre le synesthète adulte et l'enfant en stade synesthésique de développement tel que décrit par l'hypothèse néonatale, fait émerger un problème plus général pour Deroy et Spence (2013a; 2013b), à savoir la confusion des associations synesthésiques et des associations crossmodales. Les caractères arbitraire, conscient et constant de l'expérience synesthésique (Hupé, 2012; Simner, 2012a) ne sont pas retrouvés dans les descriptions des observations effectuées chez le nouveau-né et le jeune enfant. Ces dernières pourraient tout à fait être considérées comme des associations cross-modales qui sont retrouvées chez l'adulte non-synesthète (e.g. l'association fréquente de la forme ronde avec le pseudo-mot « bouba » et de la forme angulaire avec le pseudo-mot « kiki » ; Maurer *et al.*, 2006).

3.3 Hypothèse d'apprentissage

Contrairement aux deux autres théories conceptualisant l'origine de la synesthésie, l'hypothèse d'apprentissage s'intéresse plus particulièrement à l'origine des associations synesthésiques en tant que telles (Hancock, 2013). Cette théorie était présente dans les premières études puis a été mise de côté par les hypothèses génétique et neuronales avant d'être récemment reconsidérée (Yon et Press, 2014). Quand les deux autres hypothèses imaginaient les associations synesthésiques comme étant soit une exception soit naturelles mais conscientes seulement chez les individus disposant d'une prédisposition génétique ou de connexions neuronales, l'hypothèse d'apprentissage considère que ces associations Inducteur-Concurrent sont apprises, par exemple à partir de jeux et de livres pour enfants. Cet apprentissage serait oublié du fait de l'amnésie infantile. C'est l'hypothèse *fossile* : les associations synesthésiques seraient des traces des associations mises en place dans l'enfance (Calkins, 1893; Watson *et al.*, 2013). Cette théorie s'appuie notamment sur la remarque suivante : la majorité des synesthètes décrivent leurs associations comme ayant toujours existé. D'un autre côté, les seules études s'intéressant au développement de la synesthésie chez l'enfant observent une augmentation de la constance des associations au cours du temps ; aucun enfant ne dispose de toutes ses associations synesthésiques dès la première interrogation (Simner, 2013a; Simner *et al.*, 2009a; Watson *et al.*, 2014). Il paraîtrait donc que les associations synesthésiques se mettraient en place au cours du développement de l'enfant ou du moins nécessiteraient un processus de stabilisation durant plusieurs années. Ces études se sont basées sur l'exemple de la synesthésie Graphème-Couleur pour étudier l'origine de cette condition. Les lettres sont majoritairement connues à 7 ans, mais les noms de couleurs secondaires (cf. Section 4.3, page 126) continuent à se fixer plusieurs années après, laissant penser que les seuls contacts physiques avec l'inducteur et le concurrent ne suffisent pas à induire cette condition particulière qu'est la synesthésie (Watson *et al.*, 2014).

L'hypothèse développementale d'apprentissage considère alors que la synesthésie se développerait comme une aide pour apprendre, telle une stratégie, pas nécessairement consciente, ou pour résoudre les problèmes rencontrés dans la petite enfance (Watson *et al.*, 2010). Les couleurs et leur nom (pour prendre l'exemple

de la synesthésie Graphème-Couleur) sont appris en même temps que les lettres, ce qui expliquerait leur lien étroit (Watson *et al.*, 2010). D'un autre côté, la difficulté de discrimination des lettres les unes par rapport aux autres, en particulier pour le système visuel, et le nécessaire réapprentissage de lois physiques qui ne fonctionnent pas dans le cadre des lettres (e.g. la rotation change ici la nature de l'objet comme par exemple entre M et W, b et d), rendent complexe l'apprentissage de la lecture et de l'écriture. Les couleurs seraient alors utilisées comme un aide-mémoire pour intégrer correctement les lettres.

Cette hypothèse accepte la possibilité qu'une période critique de développement existe, durant laquelle les systèmes responsables du traitement du concurrent et de l'inducteur sont assez plastiques pour accepter des liens entre les deux, même si avec un entraînement assez long, cette plasticité pourrait se créer de nouveau à l'âge adulte (Watson *et al.*, 2014). Le moment de l'apprentissage serait alors important ; plus tôt une séquence serait apprise, plus idiosyncrasique elle serait. Cette dernière idée est notamment supportée par les résultats de l'étude de Rich, Bradshaw et Mattingley (2005) s'intéressant à la synesthésie Séquence-Couleur : ils constatent que les chiffres sont complètement idiosyncrasiques, or ils sont appris en premier. Les jours de la semaine possèdent quant à eux leur propre couleur ; ils sont appris en séquence, séparément, et parallèlement à l'apprentissage des lettres. Enfin, les mois de l'année ont souvent la couleur de leur première lettre ; ils sont majoritairement appris après les lettres, à travers l'écrit. Cette idée pourrait aussi expliquer l'étude de cas décrite par Hollingworth et Weisher (Hollingsworth et Weischer, 1939) : le synesthète S. a d'abord appris à lire les mots dans leur forme globale avant de les décomposer en lettres. Or il n'associe pas une couleur à chaque lettre dans un mot, mais bien au mot dans sa globalité ou au moins à chaque syllabe (associations testées entre ses 8 et ses 20 ans).

Cette hypothèse est questionnée sous trois angles différents : est-il possible de trouver des traces d'apprentissages dans les associations synesthésiques elles-mêmes ? Si la synesthésie s'acquiert, peut-on alors apprendre à être synesthète ? Et enfin, est-il possible de mettre en avant des mécanismes communs entre synesthètes et non synesthètes ? Ces trois questions sont le plus souvent examinées à partir de la synesthésie Graphème-Couleur.

3.3.1 Les traces d'apprentissages dans les associations synesthésiques

Les premières études portant sur la synesthésie ont utilisé des questionnaires pour tenter de déceler l'origine de la synesthésie (Flournoy, 1893; Galton, 1883; Seron *et al.*, 1992). Dans plusieurs d'entre elles la majorité des synesthètes ne pouvaient se rappeler l'âge de leurs premières associations, mais certains étaient capables d'en donner l'origine. Seron (1992) a par exemple répertorié les dires de trois synesthètes Forme des nombres faisant le lien entre leur Forme et la méthode d'enseignement ou une méthode de calcul utilisée dans l'enfance.

La première technique utilisée pour tester objectivement l'idée que les associations synesthésiques pourraient être apprises, a été de trouver leur source (Hancock, 2013).

Cette tentative a d'abord été infructueuse. Rich, Bradshaw et Mattingley (2005) ont interrogé 150 synesthètes pour qui les lettres, les nombres et les mots induisent des couleurs pour déterminer si l'apprentissage des séquences conventionnelles durant les premières années de la vie influence les types de liens Lexique-Couleur effectués par les synesthètes. Les participants remplissaient un questionnaire et effectuaient un test de constance pour attester du caractère synesthésique de leurs associations. Pour vérifier le rôle des apprentissages dans ce type de synesthésie, les auteurs ont analysé les lettres et chiffres colorés dans la littérature enfantine et les manuels scolaires ; 136 livres publiés entre 1862 et 1989 ont été trouvés (les dates de naissance des participants se situaient toutes entre 1914 et 1986). Sur ces 136 ouvrages, seulement 38 contenaient des lettres en couleur et 20 des chiffres. De manière générale, les associations observées chez les participants sont retrouvées sous forme de tendance dans les livres. Au niveau individuel, seulement un alphabet synesthésique se rapprochait de celui d'un livre (à 77% de constance). Mais ce synesthète ne se rappelait pas avoir vu ce livre dans son enfance. Quatre synesthètes avaient la même association Chiffre-Couleur que ceux présents dans les manuels scolaires examinés (entre 78 et 100% de correspondances). Il se trouve que ces chiffres colorés faisaient partie d'une méthode d'apprentissage des mathématiques qui était parmi les plus utilisées chez la plupart des anglophones à cette époque. Les auteurs ont remarqué qu'en incluant seulement les synesthètes de cette

époque, des associations similaires pouvaient s'observer qui correspondaient à cette méthode d'enseignement. Au niveau des traces d'associations présentes dans l'enfance et apprises par l'intermédiaire d'une exposition répétée (Calkins, 1893), les résultats sont mitigés (un seul synesthète associe de façon certaine les lettres et les couleurs de la même façon que dans un ouvrage). Rich, Bradshaw et Mattingley (2005) observent cependant deux règles qui pourraient appuyer l'hypothèse d'un rôle des apprentissages dans l'acquisition des associations synesthésiques. Tout d'abord, les mots compris dans une séquence seraient moins enclins à être associés à la couleur de leur première lettre comparés aux mots isolés (e.g. les jours de la semaine et les noms d'animaux). De plus, un mot dans une séquence apprise à un âge plus jeune serait moins associé à la couleur de sa première lettre qu'un mot inclus dans une séquence plus tardivement apprise (e.g. les jours de la semaine et les mois de l'année).

Deux études de cas ont pu renseigner trois autres exemples de synesthètes dont les associations seraient clairement inspirées de jeux pour enfants (puzzles et aimants colorés pour réfrigérateurs ou tableaux noirs ; Figure 3.5 ; Hancock, 2006; Witthoft et Winawer, 2006). Dans chacune d'entre elles, la synesthésie a été attestée par un test de constance et la source des associations localisée et vérifiée. Aucun des participants n'avait revu ces jeux récemment avant d'être interrogé. Dans l'étude de Witthoft et Winawer (2006), A.E.D. a généralisé ses associations aux lettres cyrilliques apprises elles aussi dans l'enfance. Les frères jumeaux monozygotes R. et T. partagent la majorité de leurs associations mais leur expérience est différente. Les descriptions du vécu de ces trois synesthètes concordent avec celles d'autres synesthètes dont l'origine des associations n'a pas été démontrée, rendant leur déclaration recevable. Ces études de cas ont cependant longtemps été considérées comme des données à part, comme des exceptions (Novich *et al.*, 2011; Spector et Maurer, 2009), du fait de leur petit nombre. Mais deux études ont permis de généraliser ces observations (Witthoft et Winawer, 2013; Witthoft *et al.*, 2015). Un premier article de Witthoft et Winawer (Witthoft et Winawer, 2013) décrit onze synesthètes Graphème-Couleur. Ils ont été rappelés du fait de leur participation à d'anciennes études ou de leur réponse à une annonce dans un article ; ils sont nés entre 1970 et 1985. Leur synesthésie a été vérifiée par le test de constance d'Eagleman (Eagleman *et al.*, 2007). Les associations de chaque synesthète se trouvent être



*Fig. 3.5: Exemple d'alphabet synesthésique (en haut) clairement influencé par un jeu utilisé dans l'enfance (jeu aimé en bas), tiré de l'étude de cas de la synesthète AED (Witthoft et Winawer, 2006). L'alphabet du haut de la figure représente les associations synesthésiques de AED, celui du bas correspond aux aimants colorés de réfrigérateurs retrouvés dans le grenier de ses parents. La lettre *B* aurait été perdue pendant l'enfance et retrouvée à l'âge adulte, les lettres *G* et *H* n'auraient été perdues que très peu de temps avant l'étude.*

fortement similaires aux associations d'un des trois jouets diffusés par Fisher-Price entre 1972 et 1989 qui contiennent chacun un jeu de lettres magnétiques dont les couleurs suivent une séquence (chaque participant avait au moins quatorze paires similaires). Tous les participants se rappellent avoir possédé l'un de ces objets dans leur enfance, certains ont pu les retrouver. Les associations qui s'écartent des jouets paraissent être plus proches des régularités observées dans d'autres études chez l'ensemble des synesthètes (cf. section 2.1.2 page 42 pour revue), laissant penser aux auteurs que lors de l'apprentissage des lettres les participants se seraient basés plutôt sur leur jeu que sur les associations de la population générale induites par la culture, contrairement à d'autres synesthètes. Witthoft et Winawer (Witthoft et Winawer, 2013) émettent l'hypothèse que la synesthésie serait alors en partie liée à la mémoire et aux apprentissages. La spécificité des synesthètes résiderait dans la vivacité de l'association, du contenu de la mémoire qui causerait une sensation supplémentaire au stimulus de départ. « Synesthesia is not « just » remembering, but it is remembering nonetheless ». Le deuxième article de ces mêmes auteurs

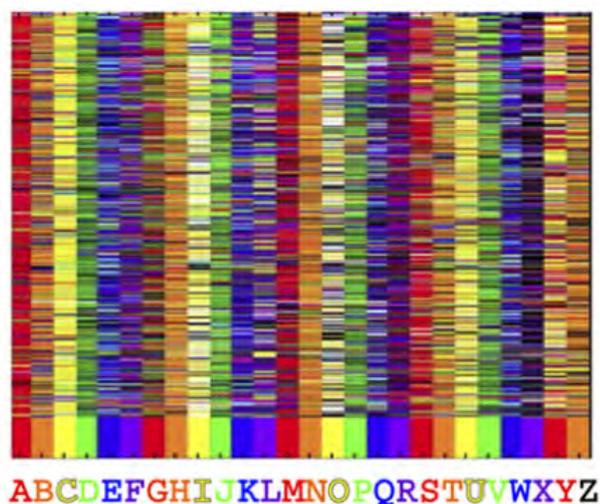


Fig. 3.6: Illustration (tirée de Witthoft *et al.*, 2015) **des associations des 400 synesthètes dont plus de dix lettres sont associées à la même couleur que celle des aimants colorés diffusés par Fisher-Price.**

sorti en 2015 (Witthoft *et al.*, 2015) interroge donc le nombre de synesthètes dont les associations peuvent être expliquées par une exposition répétée à un alphabet coloré. Les chercheurs ont pu utiliser la base de données d'Eagleman (Eagleman *et al.*, 2007) liée à une batterie de test présente sur internet et demandant notamment aux synesthètes de détailler leurs associations pour déterminer la proportion de paires synesthésiques similaires aux jeux diffusés par Fisher-Price. Ils ont analysé les associations de 6588 synesthètes Lettre-Couleur. Parmi ces participants, 400 associent plus de dix lettres avec les mêmes couleurs que les aimants (dix étant le maximum d'associations observables par hasard ; Figure 3.6). Si les analyses se cantonnent aux années de publication du jouet (i.e. 1970 et 1990), le nombre de synesthètes dans ce cas dépasse 15%. D'autres groupements de synesthètes ont pu être effectués mais la cause de leur ressemblance n'a pas pu être trouvée. D'autres échantillons d'alphabets colorés existent et pourraient avoir une influence (e.g. posters dans la classe, affiche chez les parents, autres jeux de lettres), mais seraient en trop petit nombre pour être visibles à grande échelle. De plus, ces associations peuvent avoir des origines mixtes, de plusieurs sources. Pour Witthoft et Winawer (2013; 2015), la synesthésie serait un fort souvenir de mémoire associative qui se

mettrait en place lors de l'apprentissage d'un concept complexe (e.g. la lettre dans le cas de la synesthésie Graphème-Couleur). L'expérience synesthésique serait le reflet de l'environnement dans lequel le synesthète s'est développé et auquel il a régulièrement été exposé, même si cela ne correspond pas aux régularités de la majorité des individus (Yon et Press, 2014).

L'observation d'un lien entre les lettres apprises en premier et des concepts de couleur les plus simples tend à soutenir cette hypothèse ; les synesthètes appuieraient le développement de leurs différents concepts les uns sur les autres pour les faciliter : « More work is needed to investigate these relationships, but it appears that there is a tendency for early-learned letters to be associated with simpler color concepts » (Hancock, 2013).

3.3.2 Apprendre à être synesthète

Une autre façon de tester l'hypothèse d'apprentissage de la synesthésie est de considérer que si cette condition est apprise à partir d'expositions régulières à des associations particulières, l'entraînement devrait générer le même type d'expérience (Yon et Press, 2014). Les recherches utilisant un entraînement pour tester cette hypothèse ont utilisé différentes techniques ; selon les études le type d'association interrogé, la forme de mémoire impliquée (i.e. implicite ou explicite), la tâche effectuée pendant l'entraînement, la durée de l'apprentissage, le nombre d'associations à apprendre et le nombre de participants changent (Tableau 3.1). Certains participants ont pour consignes d'apprendre des associations particulières par l'intermédiaire d'une tâche à choix forcé (Meier et Rothen, 2009), d'autres lisent des livres (qu'ils ont choisis et qu'ils lisent où et quand ils veulent) dont certains caractères cibles sont imprimés en couleur (Colizoli *et al.*, 2012, 2014), d'autres encore s'entraînent à détecter des cibles (i.e. une lettre) parmi plusieurs lettres colorées (Kusnir et Thut, 2012). L'entraînement peut aller de 10 minutes pendant sept jours à 20 jours, voire plus (il n'est pas possible de comptabiliser le temps exact d'exposition des individus à la lecture des livres colorés par exemple ; Colizoli *et al.*, 2012, 2014), et même huit ans si on considère l'étude de cas d'Elias et ses collaborateurs (Elias *et al.*, 2003) qui décrivent une brodeuse ayant intégré le code chiffre-couleur auquel elle a été exposée pendant huit ans. Le premier effet

attribué à la synesthésie et répliqué chez des personnes non synesthètes suite à un entraînement a été l'effet de congruence dans les tâches de Stroop adaptées à la synesthésie (cf. Encadré 1.1.1 page 12 pour un rappel de cette tâche ; Colizoli *et al.*, 2012, 2014; Elias *et al.*, 2003; MacLeod et Dunbar, 1988; Meier et Rothen, 2009; Rothen et Meier, 2014). Elias et ses collaborateurs (Elias *et al.*, 2003), par exemple, décrivent le cas d'une participante non synesthète, ayant sans s'en rendre compte, appris des associations Chiffre-Couleur à partir d'une activité effectuée pendant huit ans et utilisant un code couleur-chiffre. Lors de la présentation de la tâche de Stroop adaptée à ce code, cette brodeuse présente le même effet d'interférence et de congruence que le participant synesthète Chiffre-Couleur, contrairement aux quatre individus contrôles non synesthètes et non entraînés. La seule différence, pourtant majeure, qui pourrait persister entre les deux participants, synesthète et non synesthète entraîné, serait la phénoménologie de leur expérience (i.e. leur vécu et la façon qu'ils ont de le décrire). Il faudrait comparer plus particulièrement les descriptions d'expériences de ces deux types de participants lors de la présence d'un chiffre. L'effet de Stroop adapté à la synesthésie observé chez des non synesthètes a ensuite été répliqué dans de plus grands groupes d'individus (Colizoli *et al.*, 2012; Meier, 2014). Il existe cependant très peu d'études transmettant le témoignage de non synesthètes observant la même phénoménologie que les synesthètes. Pour les quelques individus s'en rapprochant, ils décrivent associer le concurrent (e.g. une couleur particulière) lorsqu'ils pensent à l'inducteur (e.g. une lettre donnée ; Bor *et al.*, 2014; Colizoli *et al.*, 2012) et encore plus rarement à sa vue (Bor *et al.*, 2014; MacLeod et Dunbar, 1988). A chaque fois qu'au moins un individu paraît vivre une expérience proche de celle décrite par les synesthètes, l'entraînement était conséquent en terme de longueur (Watson *et al.*, 2014).

Une autre différence entre les synesthètes et les non synesthètes entraînés est la durée du maintien des associations (Colizoli *et al.*, 2012; Watson *et al.*, 2014). Mais ce point a très peu été étudié pour le moment ; il demande donc à être consolidé par un plus grand nombre d'études.

D'autres recherches ont tenté d'enseigner de nouvelles associations à des individus synesthètes pour voir si l'apprentissage est possible au cas où les bases génétiques et neuronales seraient déjà présentes. Mroczko et ses collaborateurs (Mroczko *et al.*, 2009) observent que sur les seize synesthètes Graphème-Couleur

Tab. 3.1: Récapitulatif des différentes études utilisant l'entraînement de non synesthètes pour étudier l'hypothèse d'apprentissage de la synesthésie. Le nombre de participants, le type d'apprentissage, le nombre d'associations, leur types, les tâches utilisées, les durées des entraînements, etc. changent en fonction de l'étude.

Études	Nombre de participants	Type d'apprentissage	Association interrogée	Entraînement (T1)			Durée	Tâches (liste non exhaustive)	Espace entre T1 et T2	Test(s) (T2) Effet de Stroop synesthésique	Expériences synesthésiques rapportées
				Nombre d'essais	Nombre de paires	Ratio de stimuli congruent : différent					
Elias et al. (2003)	1	implicite	Chiffre-Couleur	10	1 :00	points de croix	8 ans	Stroop synesthésique adaptée	oui		
Meier et Rothen (2009)	20	explicite	Lettre-Couleur	480 × 7	1 :01	choix-forcé	10 min pendant 7 jours	synesthésique adaptée	oui	non	quelques commentaires proches de ce que rapportent les synesthètes (penser à une lettre peut induire automatiquement une couleur chez certains participants)
Colizoli et al. (2012; 2014)	15	implicite	Lettre-Couleur	moyenne de 105 660 mots	1 :00	lire des livres aux lettres colorées	entre 2 et 4 semaines	Rappel des associations et tâche de Stroop synesthésique	entre 4 et 6 mois pour le rappel	oui	
Kusnir et Thut (Kusnir et Thut, 2012)	28	implicite	Lettre-Couleur	1620	5 :01	recherche visuelle	2 jours	Stroop synesthésique adaptée et recherche visuelle Stroop	1 jour	oui et non (dépend du groupe de participants) oui et non	
Kusnir et Thut (2012)	22	implicite	Lettre-Couleur	2430	5 :01	recherche visuelle	3 jours	synesthésique adaptée et recherche visuelle		non	

interrogés quatorze généralisent leurs associations à au moins une des trois lettres d'un autre alphabet en s'entraînant à les écrire et à les reconnaître par correspondance avec la lettre de l'alphabet latin associée. Un effet de Stroop adapté à la synesthésie a pu être observé sur l'ensemble du groupe pour ces nouveaux caractères. Les auteurs émettent alors l'hypothèse que c'est le concept de la lettre qui est appris plutôt que chaque exemplaire, ce qui permet aux synesthètes d'ajouter de nouveaux allophones même à l'âge adulte. Au contraire, lorsque l'association à retenir n'a pas de sens et ne se rattache à aucun concept connu par quelque critère que ce soit (e.g. sa forme), les synesthètes ne généraliseraient pas leurs associations et seraient plus en difficulté que des individus non synesthètes pour les retenir (Brang *et al.*, 2013).

Même si les études utilisant l'entraînement n'ont pas permis d'apporter la preuve directe que la synesthésie puisse être induite par l'entraînement, elles ont tout de même réussi à induire des changements dans les comportements de non-synesthètes qui reproduisent ceux des synesthètes (i.e. effet de congruence dans la tâche de Stroop, certains récits proches des descriptions de synesthètes; Colizoli *et al.*, 2012; Rothen et Meier, 2014; Watson *et al.*, 2014). Ces résultats gagneraient à être reproduits avec plus d'individus, plus d'associations et une observation plus poussée du temps de maintien des nouvelles associations chez les individus non synesthètes. De plus, si la synesthésie graphème-couleur apparaît lors du processus d'apprentissage de la lecture, l'enfant synesthète n'apprendrait pas les associations en elles-mêmes (e.g. A-rouge), comme c'est le cas de la majeure partie des paradigmes d'apprentissages d'associations synesthésiques qui ont échoué, mais plutôt le concept de la lettre en tant que tel (qu'est ce qui est « A » et qu'est ce que cela signifie; Witthoft *et al.*, 2015). Pour étudier l'hypothèse d'apprentissage, il pourrait donc être intéressant d'avoir recours à des méthodes de lecture utilisant des codes couleurs chez l'enfant ou chez les personnes illettrées apprenant la lecture à partir d'ouvrages aux lettres colorées.

S'il est possible de faire des ponts entre l'expérience synesthésique et le comportement d'individus non synesthètes après entraînement, alors il pourrait exister des mécanismes communs entre synesthètes et non synesthètes qu'ils convient de tester en comparant les associations synesthésiques et les associations crossmodales. Dans ces cas là, ce serait l'entraînement et les apprentissages en général qui

pourraient induire des modifications dans les connexions neuronales et certains mécanismes génétiques (Colizoli *et al.*, 2014).

3.3.3 Associations cross-modales et synesthésiques, étude des individus non synesthètes

La dernière façon de tester l'hypothèse d'apprentissage est d'utiliser un moyen détourné : prouver l'existence d'une continuité entre synesthète et non synesthète, entre associations synesthésiques et crossmodales (Rich *et al.*, 2005; Simner *et al.*, 2005; Ward *et al.*, 2006) sur lequel viendrait s'appuyer l'apprentissage.

A la lumière des régularités qui ont pu être observées parmi les associations effectuées par les synesthètes (cf. Section 2.1.2 page 42 pour la synesthésie Graphème-Couleur, Section 2.3.1 page 70 pour la synesthésie Forme des nombres et Section 2.2.2 page 56 pour la synesthésie Graphème-Personnalité), certains chercheurs ont tenté d'analyser les associations effectuées sous la demande par la population générale (i.e. à l'exclusion des synesthètes). Si les associations effectuées par des individus synesthètes d'un côté et non synesthètes de l'autre paraissent être plus régulières que ce que laisse prédire le hasard, peut-être existe-il alors des mécanismes communs observables à travers des lois d'associations communes à ces deux groupes. L'étude majeure traitant de cette question est celle de Simner et de ses collaborateurs qui ont tenté de comparer les associations d'un groupe de synesthètes Lettre-Couleur et celles de trois groupes de non synesthètes (deux groupes d'anglophones dont l'un était obligé d'associer une couleur à chaque lettre alors que le second groupe ne l'était pas, et un groupe germanophone). Dans tous les groupes de participants, la sémantique tient une place majeure ; tous les groupes associent plus souvent les couleurs aux premières lettres de leur nom (e.g. B-Bleu, « Blue » en Anglais et « Blau » en allemand ; cette observation est retrouvée dans d'autres recherches : Day, 2005; Rich *et al.*, 2005). Cependant, certaines régularités observées dans l'ensemble des trois groupes de non-synesthètes ne se retrouvent pas dans celui des synesthètes, et inversement. Les synesthètes paraissent associer les lettres les plus fréquentes aux couleurs les plus fréquentes (observation répliquée dans les études de Rich et collaborateurs en 2005, avec un groupe de synesthètes et un groupe de non synesthètes anglophones, et de Beeli et ses collaborateurs 2007 et

encore Simner *et al.* 2008 avec un groupe de synesthètes germanophones) et selon l'ordre d'acquisition des noms de couleur (d'après l'ordre de Berlin et Kay, 1969). Les participants non synesthètes, quant à eux, régissent leurs associations en tenant compte de l'ordre de présentation des lettres (qu'elles leur soient présentées dans l'ordre alphabétique ou dans un ordre aléatoire) et de la facilité à générer les noms de couleurs en mémoire (ordre de Battig et Montague, 1969). Du fait de la présence de régularité dans deux populations non synesthètes de langues différentes et dans un groupe de synesthètes, Simner et ses collègues (2005) émettent l'hypothèse que ces mécanismes d'associations seraient innés et universels.

Pour Watson (2014; 2013), la présence importante du sémantique et de l'orthographique dans les associations synesthésiques, quelle que soit la langue de l'individu synesthète (Asano et Yokosawa, 2012, 2013; Rich *et al.*, 2005; Simner *et al.*, 2005; Watson *et al.*, 2014), serait une des marques majeures de l'apprentissage des associations synesthésiques.

Il existerait donc des similarités entre les associations effectuées par les synesthètes et les non synesthètes. Mais ces associations sont-elles réellement innées ou seraient-elles acquises au cours du développement (Watson *et al.*, 2014)? Les associations crossmodales sont-elles réellement la base des associations synesthésiques Lettre-Couleur chez l'adulte (Watson *et al.*, 2014)? Pour répondre à ces questions, il faudrait pouvoir comparer les associations crossmodales des enfants non-synesthètes avec les associations synesthésiques des adultes.



En résumé

Trois hypothèses majeures conceptualisent le développement ou l'origine de la synesthésie : les hypothèses génétique, neuronale et d'apprentissage. Elles s'intéressent à cette question via des points de vue différents et pas nécessairement antinomiques. Les deux premières hypothèses sondent l'origine de la condition en tant que telle ; l'hypothèse d'apprentissage s'intéresse majoritairement aux associations en elles-mêmes. Une autre façon de catégoriser ces hypothèses concerne la façon dont elles imaginent les mécanismes sous-jacents à la synesthésie : certaines considèrent qu'ils sont communs aux individus synesthètes et non synesthètes, d'autres estiment que la synesthésie s'appuie sur des mécanismes qui lui sont propres.

Développement des connaissances liées aux types de synesthésie étudiés

La question de l'origine de la synesthésie est étroitement liée au développement de l'enfant et plus particulièrement de certaines compétences. Les trois types de synesthésies parmi les plus répandus – Graphème-Couleur, Graphème-Personnalité et Forme des nombres – sont, du fait de la qualité même de leur inducteur et concurrent, étroitement liés au développement des acquisitions des lettres et des nombres, mais aussi aux concepts de personnalité et de couleur. Il est donc important, avant d'interroger expérimentalement la question du développement de ces trois types de synesthésie, de s'intéresser à l'acquisition des lettres, des chiffres et des nombres d'une part, des couleurs et du concept de personnalité et de genre d'autre part.

4.1 Acquisition et connaissance des lettres

Les graphèmes¹, et plus particulièrement les lettres, sont l'un des inducteurs les plus courants de l'expérience synesthésique (Novich *et al.*, 2011). Or, en français, et plus généralement dans les systèmes d'écriture alphabétique, la connaissance des lettres est un savoir clef pour l'apprentissage de la lecture et de l'écriture (Bouchière *et al.*, 2010; Ecalle et Magnan, 2015; Helal, 2012; Justice *et al.*, 2006). La lecture et l'écriture nécessitent des processus orthographiques et phonologiques efficaces et automatisés (Hillairet de Boisferon *et al.*, 2010). Pour acquérir ces compétences

1. Rappelons ici que le mot *graphème* est défini dans cette thèse comme *la plus petite unité distinctive du système d'écriture*. Il comprendra alors l'ensemble des lettres de l'alphabet, mais aussi les chiffres de 0 à 9 (sous leur forme indo-arabe).

en cours préparatoire (CP), la connaissance des lettres à l'école maternelle jouerait un rôle majeur (Ecalte et Magnan, 2015).

La connaissance des lettres est basée sur l'acquisition et l'association de trois éléments (Bouchière *et al.*, 2010) : la forme (écrite ; i.e. le *graphème* tel que nous le définissons ici), le nom et le son (i.e. leurs formes orales ; les *phonèmes* associés). Quand le *graphème* est la plus petite unité distinctive de l'écrit², le *phonème*, est défini ici comme étant *la plus petite unité de son permettant de distinguer deux mots* (Brandao de Carvalho *et al.*, 2010; Garnier, 2012). Le lien entre ces trois composantes est totalement arbitraire (Helal, 2012) et n'est pas nécessairement réciproque : les voyelles et les consonnes graphiques ne sont pas l'exacte correspondance des voyelles et consonnes phonétiques (e.g. la voyelle phonétique /u/ est composée de deux voyelles graphiques *O* et *U*. A l'inverse les voyelles graphiques *O* et *U* prises séparément correspondent principalement aux voyelles phonétiques /o/ et /y/ respectivement).

4.1.1 La forme des lettres

La connaissance de la lettre demande à l'enfant d'en reconnaître sa forme. Cette propriété pose cependant deux problèmes majeurs : une même lettre a différentes représentations graphiques, et elle n'est pas régie par les mêmes lois physiques que les autres objets.

Les différentes formes graphiques d'une lettre

Les différentes formes graphiques d'une lettre sont appelées des *allographes*. A l'école, même si certaines méthodes d'apprentissage passent par de la manipulation de lettres (pâte à modeler, représentation en plastique, ou mimes), l'initiation a principalement recours à l'écriture (Helal, 2012). Passer par « l'écrire » pour apprendre les lettres permettrait d'ailleurs une meilleure acquisition (plus rapide et plus forte) qu'en utilisant un appareil électronique, et en choisissant la touche correspondante à la lettre sur un clavier (Biot-Chevrier, 2007). L'enfant rencontre plus particulièrement les capitales et les minuscules, les scriptes et les cursives (Bouchière *et al.*, 2010) ; en maternelle, il doit savoir reconnaître les minuscules

2. Rappelons que la transcription écrite du phonème ne sera pas considérée ici.

d'imprimerie, mais il n'a pas l'obligation de savoir les écrire (Helal, 2012). Il commence généralement par identifier et tracer les lettres en capitales avant d'acquérir les minuscules scriptes et enfin les minuscules cursives. (Bouchière *et al.*, 2010). En France, l'enfant doit en fin de Grande Section de Maternelle (GS) « reconnaître la plupart des lettres » et « écrire de mémoire son prénom en écriture cursive » (de l'éducation Nationale, 2015).

La lettre n'est pas régie par les mêmes lois physiques que les autres objets

L'enfant appliquerait aux lettres ce qu'il connaît des propriétés des autres objets (Magnan *et al.*, 1995). Lorsqu'il comprend que les signes graphiques sont porteurs de sens, il tenterait de les assimiler en s'intéressant à leurs propriétés et en les comparant à celles des autres objets qu'il connaît. Cette comparaison avec ses connaissances antérieures des propriétés d'un objet (et plus particulièrement dans sa représentation dans le plan) serait à la fois une aide et une gêne pour l'acquisition des lettres. La représentation d'une lettre, comme celle d'un objet, peut subir des changements de taille ou d'épaisseur sans altérer sa signification. En revanche, si la représentation d'un objet dans une orientation différente ne modifie pas sa signification, l'orientation d'un signe graphique est facteur de sens : l'orientation, dans sa composante verticale ou horizontale, est une caractéristique propre à la lettre et ne peut être modifiée (e.g. b est une lettre différente de d, de p et de q). L'enfant doit donc intégrer cette loi pour acquérir les lettres, puis l'écriture et la lecture. Pour Magnan, Léonard et Aimar (1995) les jeunes enfants transféreraient donc leur connaissance des normes du dessin sur l'apprentissage de l'écriture des lettres, avant de différencier ces dernières des autres icônes et de leur donner progressivement leurs propriétés spécifiques. L'enfant va apprendre petit à petit qu'écrire est différent de dessiner. Il doit comprendre que la lecture est un travail différent des autres activités visuelles dont il a l'habitude. Plusieurs travaux appuient cette hypothèse ; ils notent la difficulté qu'ont les enfants pour maîtriser l'orientation de la lettre dans un mot (Ecalte et Magnan, 2003). Des confusions existeraient chez 78,6% des enfants de 5 à 5,5 ans entre le b et le d, et persisteraient jusqu'à 8 ans. 41% des erreurs produites par des enfants de Grande Section de Maternelle (GS), dans une tâche de reconnaissance de lettres seraient

dues à la confusion entre des lettres symétriques. Cette difficulté a aussi été mise en avant chez des enfants en Cours Préparatoire (CP) lorsque les enfants avaient pour consigne de reproduire un mot de six lettres à partir de neuf lettres présentées dans un ordre aléatoire. Les enfants sont pourtant bien capables de dire que les lettres symétriques ne sont pas orientées de la même façon, mais cette information ne leur paraît pas encore pertinente pour distinguer deux mots (Foureaux, 1988, cité dans Ecalle et Magnan, 2003). La fréquence d'occurrence des lettres à l'écrit paraît jouer un rôle dans la performance des enfants de Grande Section de Maternelle lorsqu'il leur est demandé de dénommer et de reconnaître les lettres présentées sous leur forme graphique (Bouchière *et al.*, 2010). Les lettres les plus fréquemment rencontrées sous leur forme graphique sont mieux dénommées et reconnues. Cela paraît en revanche n'avoir aucune influence sur leur récitation. De même, les lettres présentes au début de l'alphabet paraissent être mieux reconnues et dénommées, tout comme les premières lettres du prénom de l'enfant (Ecalte et Magnan, 2003).

4.1.2 Le nom des lettres

L'apprentissage du nom des lettres peut, dans un premier temps, se faire indépendamment de celui de leur forme (Bouchière *et al.*, 2010; Helal, 2012). Dans l'enseignement, il est accordé beaucoup d'importance au lien entre le nom de la lettre et le son qui lui est majoritairement associé. En France, l'élève en fin de GS doit être capable de « faire correspondre avec exactitude lettre et son pour quelques voyelles et quelques consonnes, quand la forme sonore est bien repérée », et, « après avoir appris le son qui est transcrit par une lettre, tracer cette lettre en écriture cursive » (de l'éducation Nationale, 2015). L'apprentissage de l'identification des lettres par leur nom commencerait vers 2-3 ans, s'accélérerait vers 4-5 ans et se finirait vers 6-7 ans (Bouchière *et al.*, 2010). Certains enfants sont cependant capables d'écrire une lettre sans en connaître le nom ou de réciter l'alphabet sans en associer les formes graphiques (Bouchière *et al.*, 2010; Helal, 2012). Il existerait donc une discordance entre rythme d'enseignement et rythme d'acquisition des noms des lettres (Ecalte et Magnan, 2003; Leroy-Boussion, 1967). L'ordre d'acquisition du nom des lettres dépendrait de la correspondance entre ce nom et sa

forme sonore (Helal, 2012; Leroy-Boussion, 1967). La connaissance du nom des lettres serait plus influente que celle de leur son sur la facilité d'acquisition de la lecture (Hillairet de Boisferon *et al.*, 2010). Le nom des lettres permettrait aux enfants de faire le lien entre l'oral et l'écrit, et de se sensibiliser au caractère phonologique de l'écrit. Les plus jeunes auraient en effet plus de facilité à donner la première lettre d'un mot lorsque sa forme parlée contient le nom de la lettre (e.g. les jeunes enfants anglais détecteraient plus facilement que "beach" commence par /bi/ que "bone" ; Treiman, 1996 cité dans Hillairet de Boisferon *et al.*, 2010). Après les premiers apprentissages, le lien écrit-oral prendrait de plus en plus appui sur les connaissances des sons des lettres, et mêmes des phonèmes correspondant aux mots écrits.

4.1.3 Le son des lettres

En France, les enfants connaissent moins bien le son des lettres que leur nom (Helal, 2012). L'apprentissage de la correspondance graphème-phonème, acquisition clef pour la reconnaissance des mots, paraît être alors particulièrement dépendant de la connaissance qu'ont les enfants du nom des lettres (Justice *et al.*, 2006). Cela pourrait être lié au fait que la majorité des lettres de l'alphabet (i.e. 23 sur 26) contiennent leur son, le phonème³ qu'il représente, dans leur nom (Hillairet de Boisferon *et al.*, 2010). Le lien entre nom et son d'une lettre est plus ou moins *transparent* (e.g. les lettres B, F, P sont mieux connues que C, G ou H puisque leur nom comprend leur son ; Ecalle et Magnan, 2015), nom et son sont plus ou moins identiques. Au niveau orthographique, les enfants pré-lecteurs s'appuieraient sur les connaissances des lettres et particulièrement sur leur nom pour tenter d'écrire des mots ; ils ont plus de facilité à écrire les lettres dont le nom contient le son, par exemple, « vélo » est écrit « vlo » (Foulin, 2007). Il existe en français plu-

3. Rappelons ici que le *phonème* est défini dans cette thèse comme étant *la plus petite unité de son permettant de distinguer deux mots* (Brandao de Carvlho *et al.*, 2010; Garnier, 2012).

siieurs catégories de lettres : les *voyelles*⁴ et les *consonnes*⁵ elles-mêmes divisées en plusieurs sous-types en fonction du paramètre considéré pour les catégoriser. Les voyelles seraient les lettres les plus faciles à apprendre du fait de leur lien direct entre leur nom et leur son⁶ (Figure 4.1 placé plus bas ; Ecalle *et al.*, 2008; Hillairet de Boisferon *et al.*, 2010; Leroy-Boussion, 1967). En ce qui concerne les consonnes, les sons les mieux connus par l'enfant sont ceux qu'il a appris à prononcer en premier (Eccalle *et al.*, 2009). Pour le reste des consonnes, les résultats des différentes études sont contradictoires. Certaines ne remarquent aucune différence entre les divers types de consonnes et les performances des enfants (Biot-Chevrier, 2007; Hillairet de Boisferon *et al.*, 2010). D'autres auteurs au contraire notent que le nom des consonnes est mieux connu quand la structure phonologique de leur nom est de type [Consonne + /e/] (i.e. les consonnes B C D G P T V) ; le nom est en revanche moins bien connu quand il s'agit des consonnes de type [/ε/ + Consonne] (i.e. les consonnes F L M N R S) et des consonnes dont le nom diffère des deux autres structures (i.e. les consonnes H J K Q W X Z ; Bouchière *et al.*, 2010; Ecalle et Magnan, 2003; Helal, 2012). Connaître le nom d'une lettre favoriserait donc l'apprentissage du phonème qu'elle contient, mais ne serait cependant pas toujours nécessaire (Hillairet de Boisferon *et al.*, 2010). Les enfants apprendraient plus tôt et plus vite les sons présents dans les noms des lettres que les autres (Helal, 2012). Les enfants auraient plus de difficultés en cours préparatoire (CP) pour retenir les lettres - prononciation, forme graphique, et nom - ayant différentes valeurs phonémiques (e.g. la lettre C est prononcé /c/ ou /k/ ; Ecalle et Magnan, 2003). Une autre difficulté dans l'apprentissage des lettres et de leur nom vient de la proximité phonologique ; les lettres qui sont proches par leur prononciation

4. Les *voyelles graphiques* ne doivent pas être confondues avec les *voyelles phonétiques*. Il existe en effet six voyelles graphiques (i.e. a e i o u y), et seize phonétiques (i.e. /a α e ε i o ɔ u y œ ə ã ĩ õ ã̃ φ/). Dans cette thèse le terme *voyelle* renverra aux voyelles graphiques si rien n'est précisé.

5. Les 20 *consonnes graphiques* ne doivent pas, elles non plus, être confondues avec les 21 *consonnes phonétiques*. Si rien n'est précisé, le terme *consonne* fera dans ce document référence aux consonnes graphiques.

6. Attention, cette remarque est valable entre voyelles graphiques et leurs sons associés, et seulement de leur forme graphique au phonème (e.g. la lettre u produit le son /y/ mais la représentation phonétique en forme de /u/ produit le son obtenu par l'association des deux voyelles graphiques « ou »). Les voyelles phonétiques sont quant à elles plus difficiles à apprendre, puisqu'elles demandent de combiner plusieurs voyelles graphiques ou une voyelle graphique et une consonne (e.g. o et u forment la voyelle phonétique /u/, o et n la voyelle phonétique /õ/).

seraient plus difficiles à distinguer et alors à dénommer pour l'enfant (Helal, 2012). L'association d'un mot commençant par le même phonème que le nom de la lettre permettrait à l'enfant d'apprendre ce dernier plus facilement. Il aurait alors plus de facilité à apprendre le nom et le son de la première lettre de son prénom (Helal, 2012).

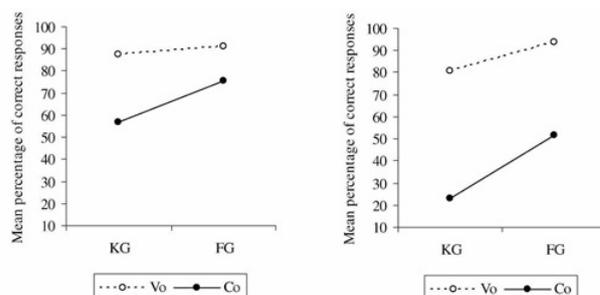


Fig. 4.1: Pourcentage de réponses correctes à des tâches de dénomination de lettre (à gauche) et d'association du son de la lettre à sa forme graphique (à droite; illustration tirée de l'étude d'Ecalte *et al.*, 2008). Les voyelles (Vo) sont mieux reconnues que les consonnes (Co), que ce soit en Grande Section de Maternelle (KG) ou en Cours Préparatoire (FG).



En résumé

Une lettre de l'alphabet est constituée de trois composantes reliées arbitrairement par l'apprentissage : une forme, un nom et un son. Ces composantes, et particulièrement le nom de la lettre, constituent un premier pas vers l'accès au principe alphabétique, à la lecture et à l'écriture. La connaissance des lettres est alors considérée comme un prédicteur majeur de la réussite en lecture et de l'acquisition de l'écriture (Ecalte et Magnan, 2015; Ecalte *et al.*, 2009).

4.2 Acquisition et connaissance des chiffres et représentation de la suite de nombres

Comme pour les lettres, l'acquisition des nombres va de pair avec le développement de la synesthésie Graphème-Couleur, le terme *graphème* renvoyant dans ce cadre à la fois aux lettres et aux chiffres (cf. Section 2.1.1, page 40), mais aussi au

développement de la synesthésie Forme des nombres, comme son nom l'indique. Il est donc important de faire le point sur le développement de cette connaissance.

4.2.1 Acquisition des chiffres et des nombres

Les nombres, comme les lettres, se composent : d'une forme graphique (en chiffre arabe ou écrit en lettre), d'une forme verbale (i.e. leur nom) et d'une quantité qu'ils représentent et qui peut être codée de différentes façons (e.g. des points sur un dé). Comme pour les lettres, ces différentes composantes peuvent être considérées indépendamment les unes des autres (Chazoule, 2012). Pour développer des compétences numériques, l'enfant doit, comme pour la lecture, articuler le symbole (visuel ou verbal) et la quantité à laquelle il correspond.

La composante analogique du nombre

Le sens du nombre, c'est-à-dire la quantité qu'il désigne, serait, dans la théorie piagétienne, une composante se développant très tardivement chez l'enfant ; le premier niveau de développement du concept de nombre se ferait dans cette théorie vers 4-5 ans (Piaget et Szeminska, 1967). Le concept de nombre serait acquis entre 6 et 7 ans ; l'enfant est alors capable de considérer le caractère invariant et abstrait du nombre, et d'ordonner les nombres (Chazoule, 2012; Fayol, 2015a). Mais des études plus récentes confèrent au jeune enfant plus de compétences que ne le faisait Piaget (Chazoule, 2012; Fayol *et al.*, 2000). A trois mois le bébé paraît déjà concevoir des notions de quantité, avoir un système de traitement capable de détecter des changements de quantité nombrable (Izard et Dehaene, 2008). Ce résultat confirme l'hypothèse d'un développement continu du sens du nombre et du système spécifique qui le traite (Izard et Dehaene, 2008). Ce système d'estimation du nombre serait le mécanisme sur lequel s'appuieraient, plus tard dans le développement de l'enfant, les compétences en représentations abstraites du nombre puis les calculs arithmétiques (Halberda et Feigenson, 2008, cité dans Chazoule, 2012). Mais la capacité du bébé à estimer rapidement de petites quantités (mécanisme appelé *subitizing*) pourrait être un mécanisme différent des compétences en représentation abstraite ou même de l'estimation de plus grande quantité (Benoit *et al.*, 2004; Fayol, 2015b). Ces résultats vont de pair avec d'autres recherches com-

portementales basées sur des paradigmes d'habituation⁷, et mettant en avant la capacité de bébés (de quelques jours à 6 mois selon les études) à discriminer et par là-même se représenter les petites quantités (entre deux et quatre objets ; Starkey et Cooper, 1980 ; Antell et Keating, 1980 ; tous cités dans Chazoule, 2012) et les grandes quantités (e.g. entre huit et 16 objets ; Xu et Spelke, 2000, cité dans Izard et Dehaene, 2008), quelle que soit la modalité par laquelle l'information numérique est présentée (e.g. visuelle ou auditive ; Chazoule, 2012 ; Fayol *et al.*, 2000). Ces résultats restent cependant à confirmer, de nombreuses autres études n'ayant pas été en mesure de les reproduire (Chazoule, 2012). La majorité des données iraient tout de même dans le sens d'une représentation analogique présente quelques jours après la naissance, mais cette compétence serait approximative avant l'apprentissage et l'appropriation de la composante verbale et graphique du nombre, avant l'apparition de la lecture et de l'écriture de ces nombres (Chazoule, 2012). Notamment, les jugements de quantité ne seraient possible qu'avec des nombres présentant un grand écart : le bébé remarque la différence entre 2 et 5 objets mais pas entre 5 et 6 objets (Chazoule, 2012).

La précision dans le domaine du jugement des quantités paraît se développer et se préciser au fil du temps. Plus l'individu grandit, plus sa sensibilité aux différences de quantité augmente (Halberda et Feigenson, 2008, cité dans Chazoule, 2012) : lors d'épreuves non verbales de discrimination de quantités numériques, les enfants de trois ans répondent correctement dans deux cas sur trois, ceux de quatre ans dans trois cas sur quatre, ceux de cinq ans dans quatre cas sur cinq, ceux de six ans dans six sur sept pour atteindre à l'âge adulte un ratio de neuf cas sur dix. Cette capacité serait très variable d'un enfant à l'autre et les réussites du jeune enfant à cette tâche prédiraient ses capacités futures en mathématiques à l'école (Chazoule, 2012). En revanche, cela ne serait plus vrai chez l'adulte, laissant penser que le système d'approximation numérique présent chez le bébé et évoluant chez le jeune enfant permettrait à l'individu d'acquérir le nom des nombres (Benoit *et al.*, 2004 ; pour pouvoir avoir une intuition du concept, de la quantité présente derrière le nom et la forme graphique) avant de passer à des concepts numériques plus compliqués et plus abstraits qui impliqueraient d'autres facteurs et qui di-

7. Cette technique est expliquée et critiquée dans une autre note de bas de page, en note 8 page 130.

minueraient l'importance de ces premières approximations numériques (Libertus, Feigenson et Halberda, 2011, cité dans Chazoule, 2012). Le *subitizing* permettrait à l'enfant de comprendre la cardinalité, et alors d'apprendre à nommer un tout, car les enfants pourraient, grâce au subitizing, relier le tout à l'ensemble des éléments qui le compose (Benoit *et al.*, 2004).

L'effet de distance chez l'adulte

L'effet de distance a été décrit pour la première fois par Moyer et Landauer (1967) chez l'adulte dans une tâche de comparaison de quantité entre deux chiffres. Plus la différence entre les deux chiffres est grande, moins l'individu met de temps à dire lequel représente la plus grande quantité et moins il fait d'erreur de jugement (e.g. l'individu est plus vite capable de déterminer le plus grand nombre entre le chiffre 1 et le chiffre 9 qu'entre le 5 et le 6 ; Chazoule, 2012). Les participants convertiraient les nombres écrits ou verbaux dans la grandeur analogique correspondante, et les compareraient comme ils comparent des stimuli physiques (e.g. couleurs, luminances, etc.).

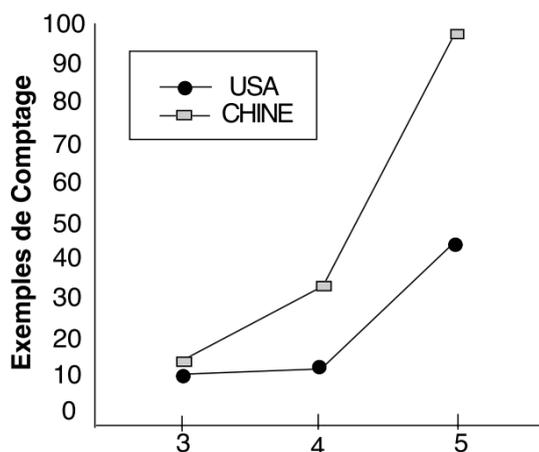
L'apprentissage des codes verbaux et visuels (i.e. écriture arabe ou en toute lettre) permettrait à l'enfant de préciser ses compétences et ses connaissances jusque là encore approximatives sur les nombres (Chazoule, 2012). Avant d'avoir complètement acquis ces représentations verbales et visuelles, l'enfant (entre cinq et six ans dans l'étude de Gilmore, McCarthy et Spelke, 2008, décrit dans Chazoule, 2012) serait tout de même capable, grâce à ses compétences analogiques approximatives, d'avoir une intuition (intuition d'autant plus juste que l'écart entre les nombres à comparer, à additionner ou soustraire est grand) des réponses qu'appellent des tâches numériques symboliques telles que des additions et des soustractions. C'est cependant l'acquisition des codes culturels oraux et écrits qui lui permettrait de gagner en précision (Chazoule, 2012; Noël, 2013).

La composante verbale du nombre

La composante verbale du nombre est un outil donné par la culture pour représenter et manipuler les quantités de manière symbolique ; l'accroissement de quantité dans une représentation analogique (e.g. des points sur un dé) suit des lois de physique (e.g. augmentation de densité et diminution de l'espace dans le cadre de points sur un dé), ce qui n'est pas le cas dans une représentation langagière (Chazoule, 2012; Fayol, 2015c; Fayol *et al.*, 2000). La convention culturelle,

n'est en aucun cas transparente : elle signale les quantités par le rang que la chaîne verbale leur donne (e.g. *un* est plus petit que *trois* puisqu'il est placé avant dans la séquence numérique verbale), sans signifier pour autant l'augmentation de la quantité. L'enfant doit donc acquérir cette séquence verbale pour que chaque terme renvoie de manière précise et automatique à la quantité qu'il représente. L'apprentissage du nom des nombres est alors une acquisition longue et difficile, contrairement à ce que pourraient laisser penser les connaissances précoces sur la cognition des nombres (Chazoule, 2012). Les enfants de deux ans et demi commenceraient à avoir une notion de la catégorie verbale « nombre » qui ne serait pas totalement fixée à cinq ans et demi (Noël, 2013). La séquence numérique (ou comptine numérique) serait quant à elle acquise entre deux et six ans pour les nombres jusqu'à vingt. Son acquisition finirait de se mettre en place en cours préparatoire (CP), soit entre six et sept ans.

Comme les nombres potentiels sont infinis, la numérotation verbale est régie par des règles : le lexique numérique se décompose en sous-ensembles (i.e. en français, les nombres de un à seize, puis les dizaines, puis cent, mille, million et milliard) qui seront combinés suivant une syntaxe précise pour pouvoir les produire et les comprendre (Fayol, 2015c; Fayol *et al.*, 2000). Ces règles sont particulièrement complexes en français (et dans la majeure partie des langues européennes) puisqu'elles s'organisent sur une base dix mais cela n'est pas visible dès la première dizaine (il faut attendre « dix-sept » pour le voir). L'enfant doit donc apprendre par cœur les termes numériques jusqu'à « seize ». Les enfants français se confrontent encore à une autre difficulté : le mot « un » peut faire référence au chiffre mais aussi à l'article indéfini. Cette ambiguïté du terme rend son acquisition plus lente que pour d'autres enfants de langues différentes (Fayol, 2015c). Les enfants chinois paraissent meilleurs que leurs pairs anglophones entre quatre et cinq ans alors qu'ils étaient de même niveau à trois ans car dans la langue chinoise, la base dix est elle aussi utilisée et les termes numériques sont réguliers dès onze, contrairement à l'anglais (Fayol, 2015c; Fayol *et al.*, 2000). Les enfants chinois comptent donc mieux et jusqu'à un nombre plus élevé que les américains (cf. Figure 4.2). Les enfants occidentaux mettent plus de temps à acquérir le nom des nombres ; l'acquisition de ces termes débiterait vers deux ans et se poursuivrait jusqu'à six ou sept ans selon les enfants (Chazoule, 2012). Cette absence de transparence en



*Fig. 4.2: Niveau de comptage d'enfants (en abscisse) en fonction de leur langue et de leur âge (en ordonnée; l'illustration est extraite de Fayol *et al.*, 2000). Les enfants de trois ans comptent tous jusqu'à dix. C'est après trois ans que l'écart entre les deux groupes d'enfants se creuse : à quatre ans, les enfants chinois savent compter jusqu'à trente alors que les américains stagnent à dix. Cette différence serait due à la transparence des termes chinois et de la base dix (e.g. yi = un, shi = dix et shi yi = onze).*

français entre la base dix et les termes employés pour nommer les quantités entraîne alors des difficultés d'apprentissage à la fois à l'oral et à l'écrit (Fayol *et al.*, 2000). Les enfants français sont d'autant plus défavorisés sur ce point par rapport aux enfants suisses romands ou aux belges, du fait de l'irrégularité qui réapparaît après soixante-neuf dans leur cas.

Les enfants paraissent différencier très tôt (les enfants interrogés dans l'étude de Wynn, 1992, ont entre deux et trois ans) les termes se rapportant aux quantités numériques, par rapport aux autres mots de la langue (e.g. des noms de couleurs et des noms de formes) ; ils semblent aussi pouvoir déterminer la quantité d'ensemble d'éléments en dessous de trois (Wynn, 1992). Mais à cet âge, l'enfant ne comprend pas les quantités rattachées aux différents termes de la comptine verbale ; il la prend comme un tout. Les enfants semblent alors tous meilleurs dans les tâches mobilisant le comptage que dans les tâches numériques qui ne le mobilisent pas : lorsqu'on demande aux enfants de donner une quantité particulière d'objets (entre 1 et 5), sans compter, ils n'en sont pas toujours capables alors qu'ils connaissent la

comptine verbale jusqu'à des valeurs plus importantes que la quantité demandée. Ils comprennent seulement la valeur analogique du terme *un* ; ils sont capables de distinguer ce qui est *un* de ce qui est plus que *un*. Il faudrait alors environ un an (à partir du moment où ils ont compris que les termes représentent des quantités) à ces mêmes enfants pour qu'ils apprennent la correspondance entre les termes de la séquence de comptage verbal et les quantités qu'ils représentent (ce temps d'acquisition est cependant très variable d'un enfant à l'autre). Les tâches « Donne tant d'éléments » et « Pointe la carte avec tant d'éléments » permettraient de vérifier les connaissances de l'enfant : il aurait acquis la correspondance verbale-analogique lorsqu'il est capable d'effectuer ces deux tâches. Une fois qu'il aurait compris le lien entre le verbal et l'analogique, il apprendrait alors du même coup tous les nombres de la séquence jusqu'au dernier nombre auquel il arrive à compter (e.g. l'enfant qui arrive à compter jusqu'à six comprend la quantité que représente *un*, *deux*, *trois*, *quatre*, *cinq* et *six* dès qu'il a compris que ces termes réfèrent à des quantités particulières). Les enfants qui connaissent l'association entre la quantité et le nom des nombres plus grands connaîtraient donc toutes les associations entre le verbal et l'analogique des nombres de quantité inférieure. La plus grande difficulté serait de mettre en correspondance les représentations mentales peu précises, mais précoces, des quantités, et l'activité de comptage verbal, la comptine de comptage étant apprise elle aussi assez vite sans compréhension des quantités qu'elle représente (Fayol *et al.*, 2000). Les enfants sont alors meilleurs pour compter sur leurs doigts que pour compter verbalement ; le comptage sur les doigts leur permettrait de préserver la correspondance entre la quantité et le terme qui la représente. La correspondance geste-objet serait meilleure que la correspondance mot-objet. Les opérations (i.e. soustraction et addition) seraient alors réussies plus tôt dans le développement de l'enfant si elles étaient présentées sous forme analogique plutôt que verbale. Mais selon les situations, ces opérations ne se baseraient pas sur les mêmes stratégies ni les mêmes mécanismes (Houdé, 2007).

Les enfants sont donc capables très jeunes d'avoir une intuition de la différence de quantité si cette différence est assez importante, mais ils apprennent très lentement les valeurs correspondant à la séquence numérique verbale (Noël, 2013). Cette difficulté d'apprentissage, et le temps nécessaire aux enfants pourraient être liés au fait que l'acquisition de l'association entre terme numérique et quantité en-

traînerait la création d'un nouveau concept représentant les nombres de manière plus précise.

La composante visuelle du nombre : les chiffres arabes

Le second code arbitraire représentant les quantités à l'écrit est le code arabe (ou indo-arabe), permettant de noter rapidement les nombres. Cette représentation écrite du nombre a très peu été étudiée jusqu'à présent (Fayol, 2015c). Le nombre restreint de recherches sur le sujet pourrait être dû, selon Fayol (2015c), à sa simplicité formelle (les nombres se composent des chiffres qui ne sont que dix : « 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 et 9 », et au fait que cette représentation soit apprise explicitement après le code verbal oral, et que l'enseignement s'appuie sur la représentation verbale pour transmettre le code arabe. Il existerait tout de même un apprentissage implicite partiel plus précoce des chiffres arabes du fait de la quantité importante d'affichages numériques (appareils ménagers, claviers téléphonique et d'ordinateur, etc. ; Fayol, 2015c). Hugues (1986 ; cité par Noël, 2013) observe que pour représenter graphiquement une quantité, les enfants peuvent utiliser différentes techniques, avant d'utiliser majoritairement le code arabe : seulement 10% des enfants entre trois et quatre ans l'utilisent, contre 30% des enfants de cinq ans et 50% des enfants au delà de cinq ans. L'apprentissage graphique commencerait cependant pleinement à cinq ans.

Ce code pose des difficultés d'acquisition spatiale et graphique puisque c'est un code écrit et ordonné par la culture (Chazoule, 2012). Chaque chiffre est associé à une position spatiale particulière pour former un nombre, c'est une convention linguistique, comme pour l'écriture des mots (composés de lettres). Si la position du chiffre change, le nombre n'est plus le même. A chaque position, en se décalant vers la gauche, le chiffre change sa valeur en l'augmentant d'une puissance de dix (les nombres étant en français régis en base 10 ; Noël, 2013). L'enfant doit donc comprendre ce principe pour former des nombres au delà de 10 (Chazoule, 2012 ; Fayol, 2015c). Une deuxième difficulté que rencontrent certains enfants plus que d'autres, du fait de leur langue, est l'association entre le code oral qu'ils ont appris et le code arabe qu'ils sont en train d'apprendre (Fayol, 2015c). Pour ce faire les enfants doivent comprendre et intégrer les règles des deux codes (verbal et indo-

arabe; Noël, 2013). En français, comme certains nombres ont un nom irrégulier (e.g. onze, douze, soixante-dix), il est d'autant plus difficile pour l'enfant d'associer la représentation liée au code arabe à la dénomination orale. Ce n'est pas le cas de l'enfant chinois dont le nom des nombres est plus transparent à partir de dix, ou même l'enfant wallon ou roman pour les nombres entre soixante-neuf et cent, pour les mêmes raisons. Le chiffre zéro a un statut particulier qui entraîne lui aussi des erreurs de transcodage entre représentation verbale et représentation liée au code arabe, surtout dans les nombres à trois ou quatre chiffres et au-delà (Fayol, 2015c; Noël, 2013).

Les enfants mettent donc aussi du temps pour acquérir ce nouveau code de numérotation. Il faudrait attendre l'âge de cinq ans pour qu'à la présentation de lettres, de chiffres et de symboles, les chiffres soient considérés correctement (dans 95% des cas) et que les autres symboles graphiques soient rejetés dans 74% des cas (i.e. lettres et symboles de types \$; Noël, 2013). Les enfants ne seraient pas capables de déterminer le chiffre exact qui est présenté ni de l'écrire avant l'âge de six ans, pour les chiffres, sept ans pour les nombres à deux chiffres et huit ans pour tous les nombres de un à quatre chiffres. Toutes les règles de transcodage entre représentations verbale et arabe seraient acquises vers l'âge de neuf ans.

4.2.2 Représentation des nombres dans l'espace

La ligne mentale des nombres

La ligne mentale se mettrait en place chez tous les individus non synesthètes pendant l'enfance pour représenter les nombres de manière analogique tout en faisant le lien avec leur étiquette verbale. Elle permettrait de se représenter les nombres et les relations de proximité entre ces nombres (Chazoule, 2012).

Lors d'une tâche de placement de nombres sur une ligne (i.e. placer sur une ligne horizontale des nombres d'écart équivalent), les réponses glisseraient d'une représentation mentale logarithmique vers une représentation mentale linéaire du fait de l'expérience culturelle, du fait de l'accès aux symboles verbaux (Figure 4.3). Ces observations ont pu être répliquées sur d'autres tâches telles que tracer des lignes dont l'unité est fournie (e.g. tracer une ligne de 8 unités), estimer une quantité d'objets dans un récipient, et estimer le résultat d'une opération (Fayol, 2015c). Il

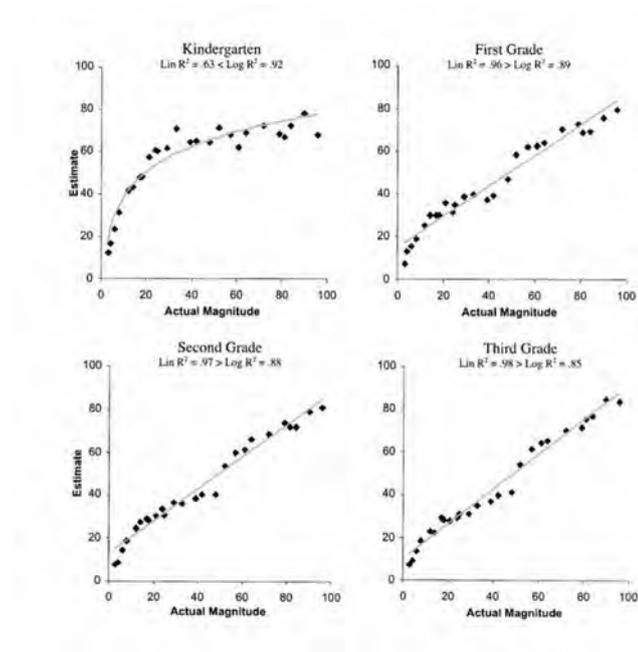


Fig. 4.3: Représentation des réponses des enfants de différents niveaux scolaires à une tâche de placement de nombre sur une ligne numérique horizontale allant de 0 à 100 (extraite de Fayol, 2015c). Les abscisses correspondent aux valeurs normées, les ordonnées à l'estimation fournie par les enfants interrogés. Les enfants de Grande Section de Maternelle (kindergarten) ont une représentation logarithmique des nombres contrairement aux enfants plus âgés (First Grade coïncide avec le CP, Second Grade avec le CE1 et Third Grade avec le CE2).

y aurait une « modifi[cation] de la forme du maillage nombre/espace » (Dehaene *et al.*, 2008 traduit dans Chazoule, 2012). La représentation logarithmique, plus approximative, se modifierait au cours de l'apprentissage des noms des nombres et de leur utilisation, pour parvenir à une représentation linéaire plus précise.

Pour Dehaene et ses collaborateurs (2008), les nombres seraient représentés spatialement de manière logarithmique chez tous les individus, quelle que soit leur culture, mais le français et plus généralement les langues occidentales, feraient évoluer cette représentation vers une représentation spatiale linéaire plus précise avec l'acquisition des termes numériques.

L'effet SNARC chez l'enfant

Il n'existe pas de consensus à l'heure actuelle sur l'existence ou non de l'effet SNARC (Encadré page 65) chez l'enfant. Cet effet pourrait ne pas être visible chez l'enfant avant l'âge de sept ans dans le cadre de tâche de magnitude (Wood *et al.*, 2008), ou neuf ans dans le cadre d'une tâche de jugement de parité (i.e. pair vs. impair), et dans ce dernier cas, seulement pour des petits nombres (Berch *et al.*, 1999). D'après la méta-analyse effectuée par Wood *et al.* (2008) sur dix-sept études indiquant l'âge de leurs participants ainsi que les temps de réponse moyens, plus les individus interrogés étaient âgés, plus la taille de l'effet SNARC était grand. L'effet SNARC se développerait au cours du temps, mais ne serait pas facile à observer avant l'âge de dix ans (l'effet SNARC resterait proche de 0 avant que les enfants aient atteint l'âge d'environ neuf ans et demi ; I.C.95% = [-0,05 ; -0,021] ; cf. Encadré page 65). Cette évolution pourrait être fonction de la mise en pratique des apprentissages du code verbal régissant les nombres. Wood et collaborateurs (2008) observent aussi que cet effet augmente même à l'âge adulte et est plus important chez les personnes plus âgées. D'après eux, ces résultats pourraient souligner une habitude croissante d'association des nombres et de l'espace. Le fait que l'effet SNARC ne soit que peu observable avant l'âge de neuf ans et demi pourrait être en lien avec le changement de représentation spatiale des nombres. En effet le changement allant d'une représentation logarithmique peu précise vers une représentation linéaire exacte des nombres commencerait vers sept ans et s'achèverait vers neuf ans (Dehaene *et al.*, 2008). L'effet SNARC pourrait

se développer à partir de neuf ans dans son format adulte.



En résumé

Comme pour les lettres, l'acquisition des nombres se base sur la compréhension et l'intégration de trois composantes arbitraires et des liens qui les unissent : une forme graphique, un nom (oral et écrit) et une forme analogique. L'articulation de ces composantes servira de base à l'acquisition des mathématiques et de leur système plus complexe.

L'apprentissage des nombres et de leurs différentes composantes est complexe et long (de deux à neuf ans), même s'il prend appui sur des compétences précoces.

Il paraît exister un lien entre nombre et espace, présent dès la petite enfance et qui évoluerait d'une représentation spatiale mentale logarithmique vers une représentation spatiale mentale linéaire. Ce changement s'effectuerait entre sept et neuf ans.

4.3 Développement de la perception des couleurs et acquisition de leur nom

Après avoir présenté les mécanismes liés à l'acquisition des lettres et des nombres, inducteurs récurrents de l'expérience synesthésique, il est nécessaire de considérer les étapes de développement des principaux concurrents des types de synesthésie qui sont interrogés dans cette thèse : les concepts de *couleur*, de *personnalité* et de *genre*.

Deux hypothèses principales et contradictoires s'affrontent pour conceptualiser la cognition des couleurs (Franklin et Davies, 2006; Rogers *et al.*, 2015) :

1. la première hypothèse considère que la cognition des couleurs s'appuie sur un mécanisme ascendant : c'est la structure de la perception qui détermine le mot utilisé pour parler d'une couleur.
2. la seconde imagine un mécanisme descendant : le mot contraint la perception. La façon de percevoir les couleurs dépendrait alors de la langue parlée.

4.3.1 La perception fait le mot

Le développement de la vision des couleurs

A la naissance, la vision est très peu développée mais va rapidement s'accroître au cours des six premiers mois (Goldstein, 1999; Maurer et Maurer, 1988). Cela est dû principalement au fait que le cortex visuel du nouveau-né n'est pas encore complètement mature et se développe majoritairement entre trois et six mois (Goldstein, 1999).

Au niveau de la rétine, première étape de traitement visuel (Figure 4.4), si sa périphérie ressemble déjà à celle de la rétine adulte, la fovéa (i.e. lieu qui constitue « la vision centrale » et qui permet la précision) en est bien différente. Les deux types de photorécepteurs neuronaux, les *cônes* et les *bâtonnets*, n'ont pas la même fonction et ne se développent pas en même temps (Graven et Browne, 2008). Les différents types de *bâtonnets* permettent de voir lorsque la luminosité est faible et transmettent un spectre entier de lumière, mais sans information liée à la couleur. Ils se développent dans les derniers mois de la gestation et sont opérationnels à la naissance. Les *cônes* se développent plus tard; ils permettent de discerner la couleur vers trois mois. Le bébé ne peut donc pas discriminer les couleurs avant cet âge; il est d'abord capable de discerner des différences d'intensité lumineuse avant de discriminer les ondes et les teintes. Deux paramètres distinguent les cônes des nouveaux-nés de ceux des adultes : leur taille et leur forme (Figure 4.5; Goldstein, 1999). La petite taille des photorécepteurs coniques des bébés fait qu'ils contiennent moins de pigments visuels (i.e. protéine permettant de capter la lumière) et absorbent donc moins bien la lumière que ceux des adultes. Les cônes sont, de plus, chez les bébés, plus larges dans leur structure interne, créant un réseau de récepteurs espacés à l'extérieur. La plus grande partie de la lumière entrant sur la fovéa du nouveau-né (le point le plus riche en photorécepteurs coniques) est perdue dans cet espace, et n'est pas utilisée par le système visuel, à l'inverse des cônes de l'adulte qui sont très serrés et permettent un réseau fin capable de détecter plus de détails. La vision du bébé est donc sensible à une toute petite fraction de l'information disponible à l'adulte; à un mois, le bébé ne peut pas discerner de détails fins et ne peut voir que de gros objets avec de forts contrastes. Sa vision est alors proche de la vision de nuit d'un adulte; sa fovéa non développée l'oblige

à voir par sa rétine périphérique, avec ses bâtonnets (Goldstein, 1999).

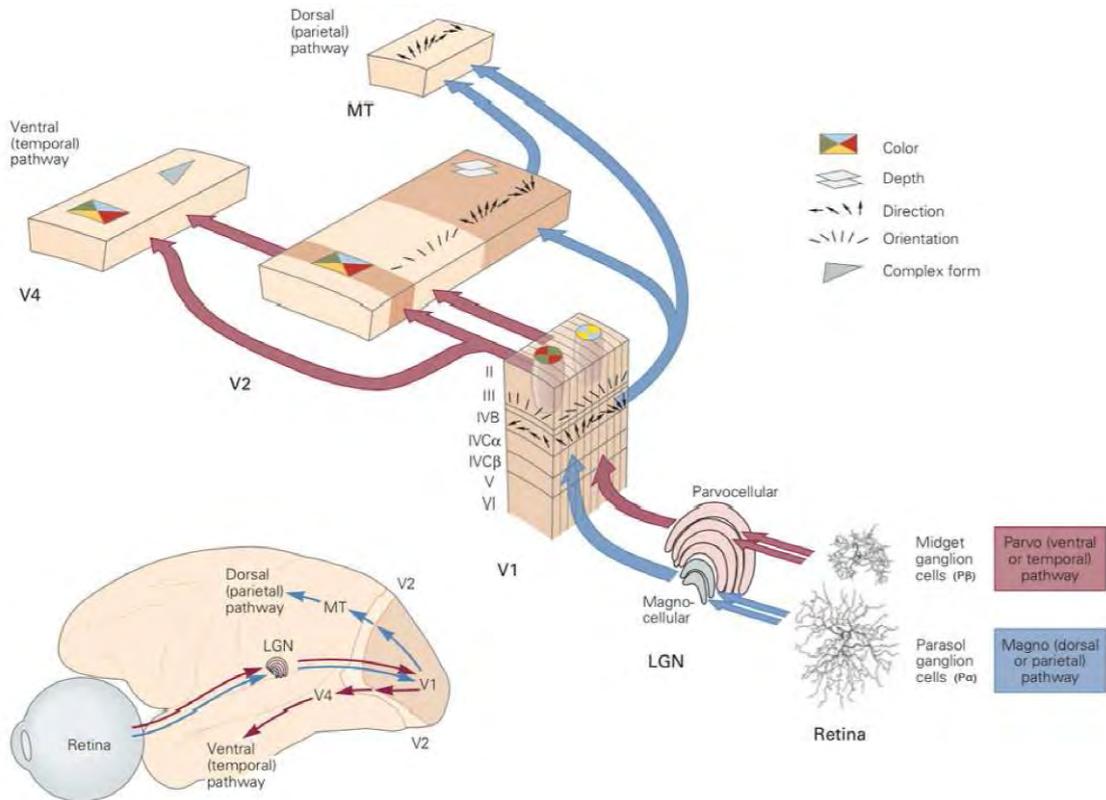


Fig. 4.4: Illustration des différentes étapes de traitement de l'information visuelle, et notamment de la couleur, de la rétine au cortex visuel (Kandel, Schwartz, et Jessell, 2000, cité dans Camors, 2015). Les informations concernant la couleur sont traitées par différentes structures en parallèle. De manière générale, lorsque la lumière entre dans l'œil, elle est d'abord traitée par les *photorécepteurs* placés au fond, sur la *rétine*. Puis les informations intégrées sont envoyées à différentes parties du cerveau (selon la catégorie d'informations qu'elles contiennent), avant d'être de nouveau réorganisées en un seul ensemble (cette partie du traitement de l'information visuelle fait encore objet de discussion dans la littérature actuelle; les oscillations cérébrales, plus qu'une partie particulière du cortex, pourraient être responsables de l'unification de l'information traitée; Engel *et al.*, 2001). L'information ne circule pas en sens unique dans ce système; un va et vient constant existe entre les différentes aires visuelles.

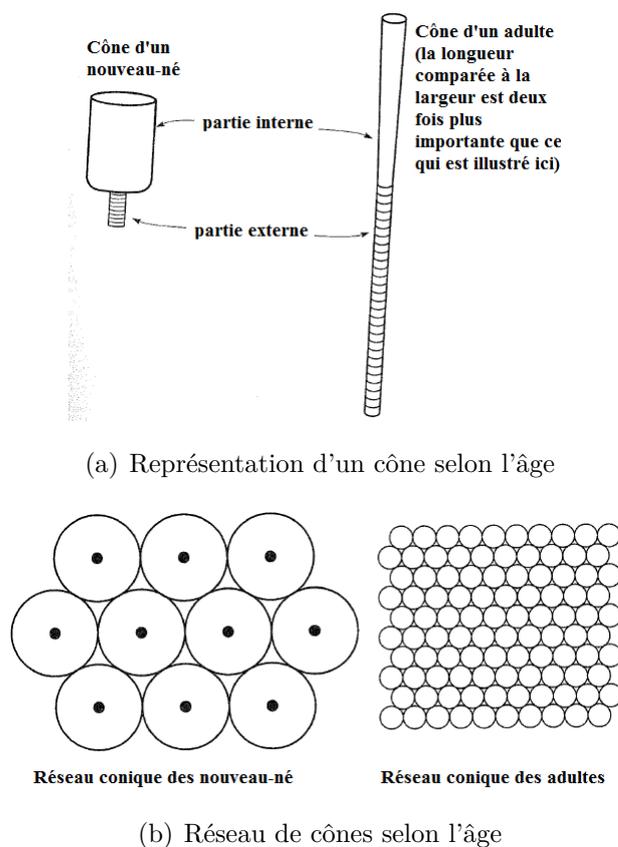


Fig. 4.5: Représentation d'un photorécepteur conique et de son réseau, au niveau de la fovéa, tirée de (Goldstein, 1999). La structure du cône et de son réseau va évoluer en fonction de sa place sur la rétine. Au niveau de la fovéa, les cônes seront particulièrement fins et longs à l'âge adulte, ce qui permettra la précision.

Chez l'homme, les cônes sont de trois types, en fonction de la longueur d'onde à laquelle ils répondent. Les cônes répondant aux basses fréquences traitent majoritairement de l'onde que les individus percevront comme bleue (pic à 430 nm), aux moyennes fréquences ils traitent majoritairement de l'onde perçue comme verte (pic à 530 nm) et aux longues fréquences ils traitent majoritairement de l'onde perçue comme rouge (pic à 560 nm; Bear *et al.*, 2007). C'est l'activation plus ou moins importante de ces trois types de photorécepteurs coniques qui va permettre de percevoir un large spectre de couleurs. L'information chromatique est ensuite envoyée aux corps genouillés latéraux (LGN; Figure 4.4) puis au cortex

visuel primaire (V1 ; Figure 4.4) par des voies différentes selon les cônes activés (les informations du cône de basse longueur d'onde sont traitées dans des parties des LGN et de V1 différentes de celles des deux autres cônes), avant d'être toutes acheminées vers les aires visuelles secondaires V2 puis V4 (Figure 4.4). Selon la voie employée, l'information transmise par les cônes n'est pas traitée de la même façon : la voie magnocellulaire additionne les informations des cônes de moyennes et de longues fréquences (c'est l'axe qui permet de discerner le blanc et le noir), la voie parvocellulaire soustrait les informations des cônes de moyennes et de longues fréquences (ce qui permet un continuum perceptuel rouge-vert), et enfin la voie koniocellulaire soustrait l'information des cônes de longues et de moyennes fréquences à celles des cônes de basses fréquences (permettant la perception du continuum bleu-jaune ; Ruiz, 2014).

Le système visuel de l'enfant étant encore en formation, que ce soit au niveau de la rétine ou des aires cérébrales plus tardives (Goldstein, 1999; Graven et Browne, 2008), il est difficile de savoir ce que perçoivent exactement les nouveaux-nés et les bébés. Leurs cônes seraient fonctionnels un mois après la naissance, et répondraient de façon très semblable à ceux des adultes à partir de quatre mois, d'après des études psychophysiologiques (Bornstein, 2006; Franklin et Davies, 2006; Goldstein, 1999; Maurer et Maurer, 1988). Leur capacité plus développée à distinguer les nuances de luminance empêche de savoir ce qui permet au bébé de distinguer deux stimuli de couleurs différentes⁸. Les basses longueurs d'onde seraient perçues vers deux mois, les moyennes et les grandes vers trois mois (Franklin et Davies, 2006; Goldstein, 1999; Maurer et Maurer, 1988 ; mais voir Bornstein, 2006).

La catégorisation des couleurs à partir de la perception

Il faut donc attendre quatre mois pour que l'appareil neuronal du bébé soit prêt à percevoir les couleurs. Mais que perçoit-il exactement ? Distingue-t-il des

8. A cette difficulté physiologique s'ajoute une difficulté méthodologique. Pour interroger psychophysiquement les bébés, les chercheurs utilisent des tâches d'habituation. Il a été observé que les bébés regardent moins longtemps quelque chose qu'ils connaissent et inversement, donc après habituation à un stimulus particulier, si le bébé regarde plus longtemps un stimulus que celui auquel il a été habitué, c'est qu'il devrait percevoir une différence. Mais avec cette technique, il est difficile de savoir si les résultats obtenus ne seraient pas dus à de la mémorisation. Cette différence de méthodologie pose aussi question concernant la continuité des résultats entre les bébés et les enfants plus âgés qui sont interrogés verbalement.

différences de teinte dans ses expériences chromatiques ? Malgré les difficultés méthodologiques, plusieurs auteurs ont tenté de répondre à ces deux questions.

Chez l'adulte, la couleur et sa perception font l'objet d'un champ entier de la littérature scientifique, à partir de différentes approches (e.g. les neurosciences, la physique, la biologie, etc.). Cet objet d'étude est en effet complexe, notamment du fait de sa nature : la couleur n'est pas une simple mesure physique mais une interprétation de la lumière par un être vivant ; c'est une construction psycho-biologique (Ruiz, 2014). Wuerger, Atkinson et Cropper (2005) démontrent que les couleurs prototypiques au niveau biologique (rouge/cyan et violet/citron vert ; Ruiz, 2014; Stoughton et Conway, 2008) ne correspondent pas aux couleurs prototypiques au niveau perceptuel (i.e. rouge/vert et bleu/jaune). La perception chromatique (qui est physiquement continue) paraît être organisée en catégories sémantiques non arbitraires (Rosch-Heider, 1973, cité dans Jraissati, 2009).

Pour les bébés de plus de quatre mois, certains auteurs (Franklin et Davies, 2006; Goldstein, 1999) considèrent que les catégories bleu, rouge, jaune et vert seraient déjà formées et que les termes de couleurs viendraient se calquer sur la réponse des cônes aux longueurs d'ondes. Les couleurs secondaires (e.g. orange, turquoise, violet, rose, etc.) seraient acquises plus tard que les couleurs précédemment citées, grâce à l'expérience, mais ne dépendraient pas, elles non plus, du langage. Les enfants de quatre mois seraient ainsi capables de différencier le rose et le violet du rouge et du bleu (Franklin *et al.*, 2005; Franklin et Davies, 2006).

Un autre moyen d'étudier la catégorisation des couleurs est de s'intéresser aux différentes cultures et langues et de comparer leur façon de classer les couleurs (études principalement effectuées chez l'adulte). Si les catégories sont les mêmes, alors les prototypes chromatiques sont universels, innés et par là-même indépendants du langage. Berlin et Kay (1969) utilisent cette technique pour introduire leur théorie. Ces auteurs considèrent qu'il existe onze catégories de base qui seraient acquises dans un ordre précis mais qui seraient communes à tous :

1. noir et blanc,
2. rouge,
3. vert et jaune, ou jaune et vert,
4. bleu,

5. marron,
6. violet, rose, orange et gris.

Les autres catégories de couleurs seraient extraites de ces catégories principales (Gérard *et al.*, 1989). Kay (2002) actualise ses propos avec les nouvelles recherches effectuées en comparant les réponses d'individus parlant différentes langues (dans des tâches de dénomination de couleur mais aussi de mémoire de couleurs et d'apprentissage demandant des réponses parfois non verbales) : il existerait une tendance statistique à utiliser des catégories de couleurs « de base » dans différentes langues, à savoir le noir, le blanc, et les quatre teintes mises en opposition pour la première fois par Hering (en s'appuyant sur une étude phénoménologique) et qui correspondent aux canaux post-récepteurs (soit au niveau perceptuel, les continuums rouge-vert et jaune-bleu) (Jraissati, 2009; Kay, 2002). Les frontières entre les diverses catégories seraient cependant dépendantes du contexte culturel (Kay, 2002). Mais cette organisation des couleurs a été et est toujours très sujette à controverse. Roberson, Davies et Davidoff (Roberson *et al.*, 2000) ont décrit un peuple de Nouvelle-Guinée qui ne ferait pas de différence entre vert et bleu, couleurs pourtant physiologiquement différenciables dès quatre mois chez l'Homme.

4.3.2 Les noms de couleurs influencent la perception

Le rôle du langage sur la perception

Selon certains auteurs, chez l'adulte et chez l'enfant, du fait d'une organisation des couleurs en catégories sémantiques, deux nuances de couleurs vont être perçues différemment selon le prototype auquel elles sont reliées (Figure 4.6; Franklin *et al.*, 2005; Franklin et Davies, 2006; Gérard *et al.*, 1989). Cette constatation a été faite à travers différentes tâches (e.g. tâche de similarité bimodale, tâche d'exclusion de type « trouver l'intrus ») et répliquée dans différents espaces de couleurs. Cette catégorisation des couleurs est aussi observée de manière indirecte dans des tâches de recherche visuelle ; les participants sont plus rapides pour détecter une cible de distracteurs si ces derniers n'appartiennent pas à la même catégorie (Franklin et Davies, 2006). Chez le bébé de plus de quatre mois, il est aussi possible d'observer des effets de frontière entre catégories. Mais, du fait de la méthodologie utilisée

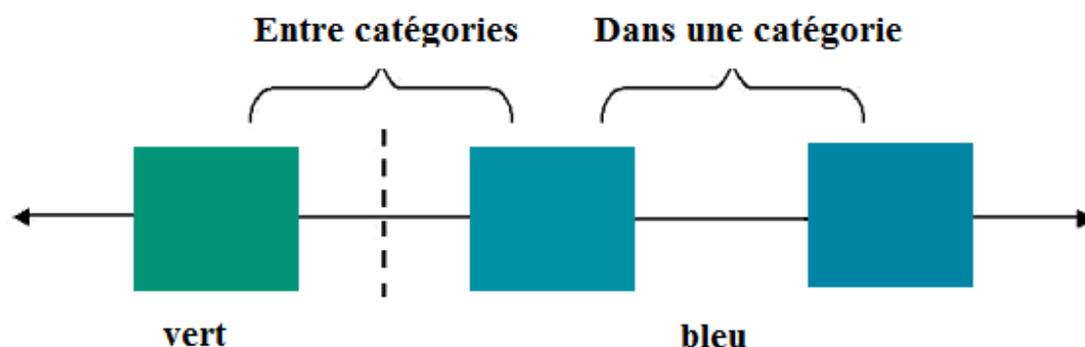


Fig. 4.6: Schéma illustrant le type de stimulus utilisé dans les études de catégorisation de couleurs. Les nuances de couleurs (représentées par des carrés) sont également espacées sur l'espace chromatique (représenté par la double flèche) mais ne sont pas discriminées de la même façon si elles sont considérées comme appartenant à la même catégorie. Dans cet exemple, un individu adulte différenciera plus vite le stimulus de gauche, considéré comme *vert*, de son voisin considéré comme *bleu*, que les deux stimuli de droite classés tous deux dans les *bleus*. Cette illustration est inspirée du schéma présenté dans l'étude de Franklin *et al.*, (2005).

pour tester cette question chez le nouveau-né, il est difficile d'attester du caractère similaire de la catégorisation faite par les enfants en comparaison avec celle observée chez l'adulte (Franklin *et al.*, 2005).

Andrick et Tager-Flusberg (1986, cité dans Pitchford et Mullen, 2005), ont mis en évidence le rôle du vocabulaire employé par les parents sur l'acquisition des noms de couleurs chez l'enfant. Les couleurs secondaires seraient catégorisées différemment en fonction de la culture, de la langue et de l'environnement du jeune enfant (Rogers *et al.*, 2015). La place du langage dans la catégorisation des couleurs, dans le système visuel, reposerait sur de nombreuses connexions conduisant les informations des régions de haut niveau vers les aires de plus bas niveau (Rogers *et al.*, 2015). La représentation que se ferait l'individu d'une couleur particulière serait basée au départ sur la perception de cette couleur et serait en constante restructuration du fait de l'environnement et de l'apprentissage. Le langage pourrait alors avoir un impact sur la catégorisation des couleurs, et de façon plus forte pour les couleurs secondaires (Rogers *et al.*, 2015). L'étiquette de la couleur serait particulièrement façonnée par l'apprentissage et l'expérience, jusqu'à pouvoir modifier les

frontières perceptuelles (Rogers *et al.*, 2015).

De manière générale, toute cette littérature reste largement sujette à controverses, principalement du fait d'un problème de circularité dans la méthode utilisée : la catégorisation des couleurs est effectuée à partir de la perception de certains individus, et le test utilisé pour départager ces catégories est ensuite réemployé dans la procédure expérimentale sur d'autres individus. En contrôlant plus la méthode, et en testant un plus grand nombre de catégories de couleur, les résultats de Witzel et Gegenfurtner (2013) semblent aller dans le sens inverse des résultats décrits précédemment ; le langage ne serait pas la base de la perception des couleurs. Ils n'observent des différences de résultats entre des nuances intra et inter catégories que dans le cadre de la distinction entre orange/rose, et bleu/vert, deux continuum qui peuvent aussi s'appuyer sur des mécanismes biologiques. Ces auteurs constatent bien des effets de frontières catégorielles dans la tâche sensitive, mais ces effets ne semblent pas reliés aux termes basiques de la couleur. Il existerait par ailleurs des différences interindividuelles dans la dénomination des couleurs et le choix des prototypes. La catégorisation des couleurs ne paraît pas changer indépendamment de la sensibilité aux nuances de couleurs, mais en fonction de la luminance.

L'âge d'apprentissage des noms de couleurs

La théorie de Berlin et Kay (1969) citée précédemment inclut une dimension développementale à l'intérieur d'une même langue : les enfants apprendraient les noms des différentes couleurs dans l'ordre où ces couleurs auraient évolué au niveau biologique et neurophysiologique (d'abord les mots *noir* et *blanc*, puis *rouge*, etc.). Cette partie de leur théorie est elle aussi controversée. D'après Pitchford et Mullen, (2002), au départ, les enfants nommeraient les couleurs avec un seul terme. Quand ils ont acquis plusieurs termes, leur dénomination des couleurs est souvent inappropriée ; le lien entre la couleur et son véritable nom apparaîtrait relativement tard, entre 4 et 7 ans environ, et nécessiterait d'être appris dans une période assez longue (Pitchford et Mullen, 2002). Les noms de couleurs se développeraient différemment selon les enfants, sans suivre la logique de couleurs primaires ou secondaires. Toutes les couleurs sont en moyenne comprises et dé-

nommées correctement à l'âge de 49 mois (i.e. 4 ans), et, si on ne compte pas le marron et le gris, à 39,5 mois (i.e. 3 ans). Pour Pitchford et Mullen (2002), il n'y aurait pas de contrainte physiologique qui gouvernerait l'apprentissage de noms de couleur ; les enfants les plus avancés dans le développement du langage dénomment et comprennent mieux les noms de couleurs que les autres enfants. La différence d'acquisition se ferait plus entre les couleurs « basiques » (e.g. bleu) et « non basiques » (e.g. beige), sans lien apparent, pour ces chercheurs, avec la fréquence lexicale de ces mots en tant que telle, mais plutôt avec la fréquence d'utilisation des noms de couleur par leur mère. Le marron et le beige, les deux couleurs les plus longues à être conceptualisées, sont aussi les moins aimées par les enfants. Chez le même enfant, de manière générale, les couleurs les moins appréciées sont aussi celles qu'il dénomme le moins et inversement. D'après Pitchford et Mullen (2005), il pourrait donc y avoir aussi un lien entre apprentissage et préférence des couleurs.



En résumé

La couleur est une construction psycho-biologique, basée sur une interprétation du spectre lumineux.

Le circuit neuronal de traitement des couleurs se développe rapidement après la naissance et jusqu'à 4 mois. Deux circuits principaux diffèrent au niveau de l'œil et jusqu'aux aires de plus hauts niveaux (aire visuelle V2) : les binômes de couleur vert et rouge d'un côté, bleu et jaune de l'autre y sont traités séparément.

Il pourrait exister un lien entre l'entrée du nom de la couleur dans le lexique, la sensibilité de l'individu à différentes nuances, la préférence de la couleur et l'émergence du concept, mais ces liens restent encore inconnus pour le moment (Pitchford et Mullen, 2002, 2005; Witzel et Gegenfurtner, 2013), que ce soit chez l'adulte ou chez l'enfant.

4.4 Acquisition du concept de personnalité

Comme le concept de *couleur*, celui de *personnalité* se forme petit à petit au cours du développement. Pour attribuer des personnalités aux individus, l'enfant doit avoir intégré plusieurs principes tels que la différenciation de soi et de l'autre, la distinction entre objets animés et inanimés, et l'existence de croyances, de réflexions, de pensées, d'émotions, reflétée dans les actions de chacun (Thommen,

2013). Cette capacité, importante pour comprendre et interagir en société, s'acquiert elle aussi avec le temps. Les grandes tendances de comportements, d'actions, induites par des événements particuliers seraient regroupées, pour chaque personne connue, sous des grands *traits de personnalité*. Cette catégorisation permettrait de savoir comment se comporter en présence de chaque individu (Gnepp et Chilamkurti, 1988). Dans la littérature scientifique, le développement de la capacité d'un enfant à concevoir l'état mental d'autres individus et d'émettre des hypothèses sur leur façon de penser est appelé *théories de l'esprit* (Harris et Butterworth, 2007b). Dans cette partie nous n'aborderons qu'une petite partie du concept de *personnalité* et des *théories de l'esprit*. Nous nous concentrerons notamment plus particulièrement sur l'attribution de caractéristiques d'objets animés à des objets inanimés.

4.4.1 Les théories de l'esprit

Prendre en considération le point de vue de l'autre

Le point de vue d'autrui, et donc la différence entre soi et l'autre, peut s'observer rapidement dans le développement de l'enfant (Thommen, 2013). Les bébés de deux mois seraient capables de détecter la présence d'autres enfants et de s'associer au regard (Eckerman, 1979, cité dans Harris et Butterworth, 2007a), et ces interactions augmentent pour aboutir à leur capacité maximale à la fin de leur première année (Harris et Butterworth, 2007a). À six mois, l'enfant tourne la tête vers l'endroit où sa mère porte le regard (Butterworth et Jarrett, 1991). Il faut cependant que l'objet soit visible par l'enfant et seul dans son champ visuel pour qu'il porte son regard sur l'objet. Le bébé comprendrait alors seulement l'information de direction et non celle de localisation. Si la mère bouge, l'information serait d'autant plus prise en compte. Cependant le bébé n'a pas nécessairement une représentation de l'intention de sa mère ; ce pourrait être la répétition d'expériences communes de ce type qui pourrait faire émerger, chez le bébé plus âgé, une prise de conscience des intentions d'autrui. L'enfant d'un an serait capable de localiser correctement la cible observée par la mère indépendamment du nombre d'objets présents dans son champ visuel, mais il faudrait attendre dix-huit mois pour qu'il regarde un objet placé derrière lui, signe manifeste pour l'auteur d'un partage

réel de l'attention entre mère et enfant (Butterworth et Jarrett, 1991; Thommen, 2013). Ce serait d'ailleurs à partir de cet âge que l'enfant commencerait à pointer du doigt les objets de son environnement dans le but de communiquer, avec une intention (Thommen, 2013) (le pointage peut cependant commencer à s'observer à la fin de la première année). Ce serait le mouvement constant des yeux de l'enfant de l'objet à la tierce personne qui marquerait en plus du « pointage » un réel partage avec autrui et une compréhension de ce partage par l'enfant. L'enfant entre dix-huit et vingt-quatre mois apprend aussi à se reconnaître dans un miroir ou sur une photographie et par là-même à différencier le « moi » de « l'autre », et à répéter en différé les actions des autres. Il faut attendre l'âge de trois ans pour que l'enfant ait vraiment acquis la compréhension que l'autre n'a pas le même point de vue (Flavell, Shipstead et Croft, 1980, cité dans Thommen, 2013), et c'est seulement entre quatre et cinq ans qu'il comprend qu'un même objet peut être vu différemment selon le point de vue (Thommen, 2013), et qu'il intègre la notion de continuité du « moi » (Harris et Butterworth, 2007a).

Acquisition du lien entre désir et action

Si l'enfant arrive à faire des liens entre l'action et les intentions de la personne, c'est qu'il a pris en compte les états internes de l'autre. Wellman et Wooley (1990 ; cité dans Thommen, 2013) ont montré que les enfants de deux ans sont capables d'inférer le futur état d'un individu en fonction de ses actions. Dans un jeu, l'enfant de cet âge est en effet capable de dire si l'autre est content ou triste, lorsqu'il cherche un objet, selon qu'il le trouve ou au contraire ne le trouve pas. Dans ce même jeu, si on explique à l'enfant que l'autre pense que son objet est à un endroit X et qu'auparavant on a demandé à l'enfant où il pensait que l'objet était et qu'il choisi un lieu Y, seul l'enfant de plus de trois ans et demi comprend qu'il y a une différence entre ce que lui croit et ce que l'autre pense et il est alors capable de prédire que l'autre va aller chercher son objet à l'endroit X, et non comme il le ferait lui-même au lieu Y. Si par contre l'enfant interrogé sait où se situe l'objet recherché (i.e. si l'expérimentateur montre à l'enfant où est réellement caché l'objet), il comprendra que l'autre peut croire quelque chose que lui sait être faux beaucoup plus tard dans son développement (i.e. entre cinq et sept ans ; Wimmer et Perner,

1983, cité dans Thommen, 2013). Il existe donc un développement progressif des états mentaux (Thommen, 2013). Le développement de la compréhension des états mentaux va continuer encore chez l'enfant entre neuf et douze ans, que ce soit ceux des autres ou de lui-même. Il faudrait attendre l'âge de huit ans pour qu'un enfant soit capable de reconnaître une notion de constance dans les comportements des autres et qu'il suppose que cette stabilité comportementale soit en lien avec des caractéristiques stables, avec une personnalité propre à l'individu (Gnepp et Chilamkurti, 1988). D'après cet auteur, c'est durant les premières années de scolarisation que l'enfant apprendrait comment les informations personnelles d'une personne affectent le lien entre ses émotions et les situations. Les enfants seraient influencés depuis la Grande Section de Maternelle par les informations de traits de personnalité pour prédire le comportement des individus qui les entourent mais cette capacité serait minime à cet âge et dépendrait des conditions dans lesquelles l'enfant est placé. Cette aptitude se développerait avec le temps, et ce ne serait qu'à partir du CM1 qu'ils arriveraient à en induire des émotions et une idée de *personnalité* générale, et non plus seulement des comportements. Donahue (1994) remarque que même à onze ans, les enfants utilisent souvent autre chose que des traits pour décrire une personnalité (comme par exemples des faits, des habitudes, des préférences, ou encore des compétences).

L'observation d'un développement dans la capacité à prêter des émotions à autrui en se basant sur d'anciens comportements pourrait aller de pair avec le développement de la prise en compte de différentes perspectives et des différences interindividuelles.

Anthropomorphisme

Piaget, en se basant sur des études observant la tendance de jeunes enfants à attribuer des pensées et des sentiments à des entités inanimées (Gjersoe *et al.*, 2015), suggère que la personnification (i.e. la tendance à attribuer à des objets inanimés des caractéristiques d'entités vivantes ou humaines) est un stade cognitif normal de l'enfant en développement (Amin *et al.*, 2011; Sobczak-Edmans, 2013). Mais Piaget ne ferait alors pas de différence entre l'animisme (i.e. la capacité à attribuer de la vie à des objets inanimés) et l'anthropomorphisme (i.e. la tendance

à attribuer des caractéristiques humaines à des objets, des entités inhumaines). Contrairement aux observations de Piaget, et en se basant sur la différence entre animisme et anthropomorphisme, les études actuelles ne retrouvent pas, chez les enfants d'âge préscolaire, d'attribution d'états mentaux à des poupées ou à d'autres jouets, et cela ne se retrouve même que très rarement dans le cadre de jeux imaginaires (Amin *et al.*, 2011; Gjersoe *et al.*, 2015). Les enfants entre deux et cinq ans seraient tout à fait capables d'associer des attributs psychologiques pour expliquer les comportements des êtres vivants et au contraire d'utiliser des attributs physiques pour prêter une psychologie à des entités inanimées (Hickling et Wellman, 2001, cité dans Gjersoe *et al.*, 2015). Il n'y aurait que très peu de confusion entre les deux. Gjersoe et ses collaborateurs (2015) remarquent cependant que si l'enfant a un fort attachement à un objet (par exemple, si cet objet est son « doudou »), et que ce même objet a des traits humains (e.g. un visage), il aura tendance à attribuer plus de sentiments et de pensées à cet objet qu'à un autre jouet ou même à un animal vivant.

Quand est-il de l'attribution plus spécifique du genre à des objets inanimés ?

4.4.2 Le genre

Dans la synesthésie Graphème-Personnalité, le concept de *genre* a lui aussi une place importante ; la majorité des synesthètes, associant une personnalité à un graphème, y intègrent un genre, et il arrive même que certains synesthètes attribuent seulement un genre aux lettres et aux chiffres (cf. Section 2.2, page 43). Comment le concept de genre se forme-t-il alors ? Quel est l'impact des genres grammaticaux sur l'attribution d'un genre aux objets inanimés ?

L'acquisition du concept de genre

Le concept de *genre* intègre trois composantes : une biologique (génétique), une sociétale et une individuelle (élaboration psychologique de l'individu ; Le Maner-Idrissi, 1997). Le côté sociétal du concept de *genre* regroupe toutes les caractéristiques du sexe qui sont considérées comme appropriées aux individus de sexe masculin ou de sexe féminin. Il se développe à partir de la différence de sexe et semble universelle dans sa construction dichotomique, mais pas dans les tâches et

les vêtements attribués à chacun (Mead, 2001). L'enfant va alors devoir intégrer ces trois composantes et les faire interagir.

Kohlberg (1966, cité dans Harris et Butterworth, 2007b) émet l'hypothèse que le mécanisme permettant de développer le concept et l'identité du genre se développe avec la tendance à catégoriser les autres objets et les autres personnes comme *féminin* ou *masculin*. Ce mécanisme passerait donc par une classification des comportements attribués par la société à chaque genre, que les enfants observeraient à travers leur entourage et plus particulièrement leurs parents. Il existerait plusieurs stades de développement :

- dans un premier temps, l'enfant commence par étiqueter les objets et personnes de son entourage selon leur genre. Ce stade se développerait entre deux et trois ans et demi. L'enfant devient doucement conscient qu'il appartient à une catégorie particulière. Il apprendrait d'abord son identité sexuée puis celle de ses proches. Ces deux compréhensions se développeraient en parallèle de celles des étiquettes de genre que l'enfant rencontre (e.g. homme *versus* femme, fille *versus* garçon).
- Il n'apprendrait cependant qu'au stade suivant que son statut ne change pas, qu'il existe une stabilité dans ces étiquettes. Ce stade existerait entre trois et quatre ans et demi. Les enfants s'appuieraient surtout sur l'apparence physique, sur les vêtements. Mais le changement de vêtement pourrait permettre le changement de sexe, d'étiquette.
- Le dernier stade, entre quatre ans et demi et sept ans, serait celui où l'enfant réalise vraiment la constance du genre, quelle que soit la situation, l'apparence de la personne et le moment dans le temps.

D'autres auteurs ont considéré que les enfants ne comprennent pas la notion de genre avant l'âge de quatre ans environ (Harris et Butterworth, 2007b). Les enfants auraient particulièrement des difficultés lorsqu'ils doivent considérer à la fois la dimension de l'âge et la dimension sexuée dans une même représentation. Le bébé serait cependant capable de différencier les individus selon leur sexe dès sept mois, que ce soit à partir de photographies ou à partir de la voix (Le Maner-Idrissi, 1997). A neuf mois, le bébé serait aussi capable d'attribuer une voix féminine à un visage féminin.

Il serait intéressant d'examiner l'impact des genres grammaticaux de la langue

parlée par l'enfant sur les difficultés de l'enfant à comprendre le concept de genre et sur l'attribution d'un genre à des objets inanimés.

Le genre des mots influence le genre de l'objet

Les langues du monde diffèrent dans leur façon de coder le genre. L'anglais, par exemple, code le genre naturel directement dans le lexique à travers des noms (e.g. "girl" *versus* "boy", "brother" *versus* "sister") ou des pronoms (e.g. "he" *versus* "she"), mais n'attribue pas de genre grammatical à chacun de ses noms, qu'ils réfèrent à des entités animées (e.g. "doctor") ou inanimées (e.g. "apple"). A l'inverse, certaines langues, le français compris, catégorisent naturellement chaque nom commun en terme de masculin ou féminin au niveau grammatical (Sera *et al.*, 2002), et ce, qu'il réfère ou non à un être vivant (e.g. « un docteur » ou « une pomme »). En français, d'autres objets grammaticaux vont alors suivre ce système « genré » : les déterminants, pronoms et adjectifs vont marquer, dans leur morphologie, le genre du nom qu'ils déterminent, complètent ou remplacent, mais ce n'est pas le cas de toutes les langues (e.g. en allemand, seulement les pronoms et les déterminants sont constamment « genrés » avec le nom qu'ils déterminent ou remplacent ; Sera *et al.*, 2002). Il existe une autre différence entre les langues selon le nombre de catégories de genre qu'elles distinguent : quand le français a deux genres (i.e. masculin et féminin) l'allemand et le grec en ont trois (ils intègrent le neutre). Il n'existe pas de consensus à l'heure actuelle concernant l'existence ou non d'une influence du genre donné par la langue sur la façon de percevoir et de catégoriser un objet par l'individu (Sera *et al.*, 2002). Plusieurs études, utilisant une tâche de classification de pseudo-mots dont les suffixes marquent le genre dans la langue des individus interrogés, ont démontré un effet du genre grammatical sur la classification. Mais ces études sont critiquées ; la tâche employée interroge directement le genre grammatical et non la perception de l'objet en tant que tel. Mais cette critique n'explique pas les résultats contradictoires obtenus dans une même langue avec la même tâche. Une étude de Sera et collaborateurs (1994 ; cité dans Sera *et al.*, 2002) observe le même effet de genre grammatical sur la classification des objets en eux-mêmes dans une tâche n'impliquant pas nécessairement les mots ; les participants devaient associer une voix, masculine ou féminine, à un objet re-

présenté sur une image. L'influence du genre grammatical des mots de la langue du participant sur l'attribution d'un genre à des objets inanimés est observée dans une autre tâche avec des participants adultes, et ce, même dans une catégorisation indirecte et dans une autre langue que leur langue natale (Boroditsky *et al.*, 2003). Les individus mémorisaient mieux les paires de mots anglais « nom commun-nom propre » lorsque le nom commun avait le même genre que le nom propre dans leur langue natale (i.e. l'espagnol).

Les enfants de langue « genrée » utiliseraient plus facilement le genre pour catégoriser librement des objets inanimés (Martinez et Shatz, 1996, cité dans Sera *et al.*, 2002). De même, ils sauraient plus rapidement déterminer leur propre genre, à vingt-cinq mois, que les enfants de langues non « genrées » (e.g. les enfants hébreux savent plus tôt que les enfants anglais quel est leur sexe ; Guiora, Beit-Halachmi, Fried et Yoder, 1983, Sera *et al.*, 2002). D'après l'étude de Sera et ses collaborateurs (2002), l'impact du genre sur la catégorisation genrée des objets inanimés dépendrait de l'âge ; les catégories effectuées par les enfants de CE1 (environ sept ans) et les adultes sont davantage influencées par le genre grammatical des noms des objets catégorisés que celles des enfants de Grande Section de Maternelle. Pourtant les enfants connaissent bien les genres grammaticaux des mots utilisés dans l'étude (et ce depuis leur trois ou quatre ans). D'après ces auteurs, l'attribution de genres aux objets inanimés serait particulièrement influencée par le genre grammatical du nom de ces objets dans les langues ne possédant que deux genres grammaticaux, surtout lorsque le genre grammatical du nom coïncide avec le genre de l'objet dans le cas des objets animés (comme c'est le cas en français). Le genre grammatical serait, dans ces langues, sur-généralisé et attribué aux objets inanimés. Cette sur-généralisation, l'association d'un genre aux objets inanimés, commencerait, pour ces auteurs, vers sept ans.

Il est intéressant de constater, en français, l'attribution d'un genre à un autre objet inanimé particulier : les lettres. Cette attribution langagière pourra être mise en parallèle de l'association synesthésique idiosyncrasique entre lettre et genre.

Le genre des lettres françaises

En français, jusqu'au 20^e siècle, les lettres avaient elles aussi un genre, même si l'usage courant n'utilise plus que le masculin pour toutes les lettres (Grevisse, 1959). L'ensemble des voyelles étaient masculines (e.g. un A, un O ; Grevisse, 1959). Les consonnes en revanche se décomposaient en deux groupes selon le nom de la lettre :

- les [Consonne + /e/] et les lettres W et Z ayant un nom dont la structure ne rentre pas dans les deux catégories ordinaires, étaient masculines (i.e. le B, le C, le D, le G, le J, le K, le Q, le T, et le V).
- les [/ε/ + Consonne] qui étaient féminines (e.g. la H, la L, la M, la N, la R et la S).

La lettre F avait un statut particulier puisqu'il était considéré comme féminin en minuscule et masculin en majuscule (le grand F et la petite f). Le X était plus souvent considéré comme masculin, sauf au 19^e siècle où il était féminin.

Le nombre de synesthètes Graphème-Genre pourrait être plus importants en France puisque les lettres ont déjà un genre grammatical (même si ce genre tombe en désuétude). De manière plus générale, Il serait intéressant d'interroger expérimentalement le lien entre l'acquisition de ces différents apprentissages et le développement de la synesthésie Graphème-Personnalité.



En résumé

Comme pour les couleurs, les lettres et les chiffres, l'acquisition du concept de personnalité est un apprentissage long et difficile. Même si cette connaissance se fonde sur des compétences précoces, elle ne débute réellement que vers quatre ans et continue progressivement à se développer, notamment grâce à la scolarisation, jusqu'à ce que la maîtrise des bases soit acquises vers huit ans.

Les enfants acquièrent plus rapidement le concept de genre (i.e. vers quatre ans).

En français, même si les lettres sont actuellement toutes considérées grammaticalement comme masculines, il n'en a pas toujours été ainsi. Dans un passé proche il était encore enseigné dans certaines écoles que les voyelles sont des lettres masculines, les consonnes dont le nom a une structure de type [/ε/ + Consonne] féminines et de type [/e/ + Consonne] masculines, sauf exception.

Enjeux de cette thèse

Les recherches concernant la synesthésie, ce vécu dans lequel un individu associe une expérience supplémentaire (e.g. une couleur) à la présentation d'un stimulus particulier (e.g. une lettre), ont permis d'attester le caractère réel de ces associations ; les synesthètes ne sont plus désormais considérés comme des affabulateurs (Chapitre 1.1.3, page 25). L'expérience synesthésique a pu être définie selon cinq critères clefs : elle est considérée comme constante, consciente, additionnelle, arbitraire et idiosyncrasique. Même si une définition opérationnelle a pu être acceptée, elle porte essentiellement sur ce qui est connu de la synesthésie des individus adultes (et elle est déterminée à partir d'expériences comportementales et des témoignages des synesthètes). Mais les origines de cette particularité restent encore mal établies, et son caractère très subjectif rend son étude difficile d'un point de vue méthodologique. En particulier, il n'existe pas de test (et encore moins de mesure cérébrale, par exemple) permettant d'identifier un synesthète de façon certaine, surtout indépendamment de son témoignage. Il est alors difficile de connaître l'étendue de cette condition chez l'adulte, et encore plus chez l'enfant. Trois hypothèses majeures tentent tout de même de répondre à la question du développement de la synesthésie, sans réel consensus : les hypothèses génétique, neuronales et d'apprentissage (Chapitre 3, page 79). Ces hypothèses divergent dans leur point de vue mais ne sont pas nécessairement antinomiques ; les premières sondent plus particulièrement le développement de cette particularité en tant que telle, la dernière s'interroge plus spécifiquement sur l'émergence des associations en elles-mêmes. Les hypothèses concernant l'émergence de la synesthésie peuvent aussi être catégorisées en fonction de leur conceptualisation des processus cognitifs de la synesthésie. Quand certaines considèrent un mécanisme commun à tous les individus, synesthètes ou non, d'autres imaginent que la synesthésie aurait ses propres mécanismes. Aucune ne fait de prédiction précise quant à l'apparition de la synesthésie ou son développement.

Pour interroger l'origine et le développement de la synesthésie, la plupart des études observent et analysent des réponses d'adultes synesthètes ou non synesthètes ; très peu de chercheurs se sont penchés sur le développement de cette condition directement chez l'enfant (Simner et Bain, 2013; Simner *et al.*, 2009a).

L'objectif de cette thèse est d'interroger l'origine de la synesthésie et la façon dont elle se développe, en s'intéressant plus particulièrement à la population enfantine, avec trois points d'appui :

- l'étude de la prévalence de différents types de synesthésie chez l'enfant.
- l'étude de l'évolution de la prévalence et des associations synesthésiques dans différentes tranches d'âge.
- l'étude des associations lettre/chiffre-couleur chez les enfants non synesthètes.

5.1 La prévalence de différents types de synesthésie chez l'enfant

La prévalence de la synesthésie dépend du type d'associations synesthésiques pris en compte, ainsi que de la méthode employée pour recruter les participants et du critère utilisé pour considérer un individu comme synesthète.

Pour être en mesure de généraliser nos résultats à la synesthésie en général, nous choisissons donc d'étudier, par une méthode systématique (pour ne pas avoir de biais de recrutement ; Section 1.2, page 25), la prévalence de trois formes de synesthésie : Graphème-Couleur (qui permettra aussi la comparaison avec les études précédentes chez l'enfant), Graphème-Personnalité (dans le sens large, à savoir Graphème-Personnalité et Graphème-Genre ; synesthésie jamais étudiée chez l'enfant jusqu'à présent, mais qui est induite par les mêmes stimuli que la synesthésie Graphème-Couleur et qui est considérée chez l'adulte comme une des formes les plus fréquentes), et enfin Forme des nombres (étudiée chez l'enfant avant 1915 et considérée elle aussi comme fréquente).

Seule l'étude de Simner et collaborateurs (Simner et Bain, 2013; Simner *et al.*, 2009a) s'intéresse aux marqueurs développementaux de la synesthésie (Graphème-Couleur) dans une étude systématique chez des enfants (entre 6 et 7 ans, puis 7

et 8 ans et enfin 10 et 11 ans). Nous allons donc nous inspirer de cette étude pour interroger le développement de la synesthésie et son lien avec l'apprentissage à travers la prévalence de cette particularité. Nous considérerons un enfant comme synesthète à partir de la constance de ses associations. Nous interrogerons aussi le caractère conscient de ses associations synesthésiques, mais sans utiliser ce point comme critère principal de sélection des synesthètes (contrairement à beaucoup d'études chez l'adulte) ; Simner et Bain, ainsi que d'autres auteurs avant eux, ont, en effet, souligné la difficulté d'interroger des enfants de moins de quinze ans sur ce point.

Les trois formes de synesthésie que nous voulons étudier sont toutes trois liées à des inducteurs appris, acquis : les lettres, les chiffres et les nombres sont des symboles abstraits et arbitraires, qui sont enseignés aux enfants pour leur permettre d'acquérir ensuite des compétences en lecture, écriture et calcul. Bien que présents dans l'environnement des enfants depuis leur plus jeune âge, les caractères alphanumériques ne commencent à être rattachés au concept qu'ils représentent que lors des premiers enseignements, à l'école. Les lettres et les chiffres commencent à être appris et manipulés en France en maternelle, puis subissent un apprentissage intense en Cours Préparatoire (CP ; Chapitre 4, page 109). Les noms de couleurs sont appris en maternelle ; le concept de personnalité commence à se mettre en place au même moment, mais n'est vraiment acquis que bien plus tard (après l'âge de 11 ans). Le concept de genre serait un peu plus précoce que le concept de personnalité : il serait acquis vers 7 ans.

La synesthésie, quel qu'en soit le type, pourrait donc commencer à se mettre en place très tôt, si seule la présence de l'inducteur dans l'environnement suffit à déclencher un lien entre inducteur et concurrent. Si par contre le concept signifié par le symbole est important dans le liage de l'inducteur et du concurrent, alors les enfants devraient mettre en place leurs associations plus tard, sans doute pas avant le CP. En outre, si la synesthésie suit les mêmes mécanismes que la mémoire associative, par exemple en étant le résultat de souvenirs intenses, alors la synesthésie pourrait ne commencer qu'en CP (une fois que les caractères alphanumériques sont connus) et s'intensifier en CE1, voire ne se mettre en place vraiment que dans les niveaux supérieurs (avec l'utilisation fréquente de ces caractères et alors la consolidation du souvenir). Selon la façon dont s'articulent la formation des associations

synesthésiques et l'apprentissage, progressif, des chiffres et des lettres par l'enfant, on peut s'attendre, soit, à observer une proportion d'enfants synesthètes équivalente à la proportion adulte; soit au contraire, il est possible que la synesthésie soit presque inexistante chez l'enfant tant qu'il ne maîtrise pas parfaitement (ou n'utilise pas complètement) les concepts des lettres et des chiffres. L'observation des associations entre lettres, chiffres et couleurs, entre lettres, chiffres et traits de personnalité et entre les nombres et des positions spatiales, avant le CP (i.e. en Grande Section de Maternelle; GS), pendant le CP et après le CP (i.e. en 1^{re} année de cours élémentaire; CE1) devrait alors nous renseigner sur les liens possibles entre synesthésie et apprentissage des inducteurs. Nous interrogerons donc des enfants de GS, CP et CE1 (entre 5 et 8 ans), des filles et des garçons, de façon systématique pour caractériser la synesthésie chez l'enfant entre 5 et 8 ans.

5.2 Evolution de la prévalence et des associations synesthésiques chez l'enfant

Nous essaierons de préciser la trajectoire développementale de la synesthésie en comparant les prévalences de synesthésie dans les trois niveaux scolaires interrogés, correspondant à peu près à trois tranches d'âge. La prévalence n'est pas le seul indice permettant d'étudier le lien entre le développement de la synesthésie et l'apprentissage; nous étudierons donc également l'impact de l'apprentissage sur les associations synesthésiques en tant que telles et plus généralement leur développement, en nous penchant sur les différences qualitatives des associations synesthésiques effectuées en fonction du niveau scolaire (i.e. GS, CP, et CE1). Nous étudierons enfin les associations de chaque enfant synesthète à la lumière de ses propres compétences. Cette recherche exploratoire pourrait fournir des pistes de réflexion quant à la façon dont les associations synesthésiques se mettent en place et se relient aux apprentissages : est-ce rapide et brusque, une fois l'inducteur connu, ou bien le lien entre inducteur et concurrent nécessite-t-il du temps? Ces associations synesthésiques sont-elles propres à l'âge ou sont-elles similaires à celles des adultes synesthètes? Les lettres et les chiffres constants sont-ils bien connus des enfants ou au contraire font-ils partie des caractères que l'enfant a du

mal à reproduire ? Correspondent-ils aux caractères les plus difficiles à apprendre ou aux premiers caractères enseignés ? Les enfants considérés comme synesthètes semblent-ils plus en difficulté ou au contraire sont-ils meilleurs que leurs pairs dans la reproduction des lettres et des nombres ?

5.3 Les associations Lettre/chiffre-Couleur chez les enfants non synesthètes

Les chercheurs s'étant intéressés à l'existence d'un mécanisme commun entre synesthètes et non synesthètes ont interrogé les associations (majoritairement entre lettres et couleurs) d'adultes non synesthètes, à la lumière des régularités associatives observées chez des adultes synesthètes (Section 3.3.3, page 107). Des similarités entre les associations faites par les deux groupes d'individus suggèrent en effet l'existence d'un mécanisme commun à tous les individus, synesthètes ou non synesthètes. Pour certains auteurs, ces mécanismes associatifs seraient innés et universels ; pour d'autres, le poids des aspects sémantiques et orthographiques dans ces associations crossmodales et synesthésiques serait la marque d'un apprentissage précoce, subsistant à l'état de trace chez l'adulte non synesthète et qui se serait fossilisé chez l'adulte synesthète. Les associations Lettre-Couleur du synesthète adulte suivraient alors le même schéma associatif que celui des enfants synesthètes mais aussi (et surtout) non synesthètes. Nous avons donc étudié les associations lettres-couleurs et chiffres-couleurs effectuées par des enfants non synesthètes, afin de les comparer à celles des synesthètes adultes.

Deuxième partie

MÉTHODES

Méthode des études de prévalence de la synesthésie chez l'enfant

6.1 Participants

Après avoir reçu les autorisations de M. le recteur de l'académie de Toulouse, des inspecteurs de deux circonscriptions de cette même académie, et avec l'accord des directeurs et enseignants concernés, 797 enfants, de 41 classes d'écoles publiques françaises,¹ ont pris part à l'étude. Parmi ces enfants, 308 étaient en Grande Section de maternelle (GS), 282 en Cours Préparatoire (CP) et 207 en 1^{re} année de Cours Élémentaire (CE1). Selon la synesthésie étudiée, ce nombre varie plus ou moins ; 705 enfants ont été inclus dans l'étude sur la synesthésie Graphème-Couleur, 706 dans l'étude sur la synesthésie Graphème-Personnalité et enfin 696 dans celle concernant la synesthésie forme des nombres. En effet, c'est la constance des associations synesthésiques qui permet de considérer une personne comme synesthète. De ce fait, ne pas avoir participé aux deux sessions identiques réparties sur deux jours différents est un critère d'exclusion de l'étude. Or, un enfant a pu être malade lors d'une des sessions, arriver en retard, s'absenter un moment pendant la passation, etc. Le choix a alors été fait d'exclure les enfants par exercice non effectué en entier et donc par type de synesthésie (et non pas sur la globalité de l'étude) de sorte que les enfants considérés dans la partie de la synesthésie Graphème-Couleur ne sont pas nécessairement exactement les mêmes que ceux de celle de la synesthésie Forme des nombres ou Graphème-Personnalité. La latéralité² des enfants a été répertoriée afin de tester l'existence d'un lien entre

1. Ces classes étaient donc réparties principalement sur le secteur de Grenade et de Portet-sur-Garonne dans l'académie de Toulouse, dans la région Midi-Pyrénées. Nous remercions encore chaleureusement toutes les personnes qui ont permis cette étude.

2. Elle fait ici référence à la main utilisée par l'enfant lors des exercices proposés. L'enseignant a ensuite vérifié que la main observée est bien celle employée par l'enfant dans les tâches scolaires

latéralité et synesthésie.

Parmi ces 41 classes visitées une première fois, trois ont pu participer une seconde fois à l'ensemble de la procédure expérimentale. Comme la première année, le nombre d'enfants inclus dans l'analyse varie plus ou moins selon la forme de synesthésie étudiée, puisque l'enfant n'a pas nécessairement pu passer deux fois l'ensemble des exercices.

6.1.1 Participants de l'exercice 1

Parmi les 41 classes d'écoles publiques visitées, 705 enfants (entre 5 et 8,58 ans; fille/garçon = 358/347; gaucher/droitier = 72/632) ont pu faire deux fois l'exercice 1 (relatif à la synesthésie Graphème-Couleur). Parmi ces participants,

- 251 étaient en Grande Section (GS; âge moyen = 5,69 ans et écart type (σ) = 0,44; fille/garçon = 123/128, gaucher/droitier = 27/224),
- 262 en Cours Préparatoire (CP; âge moyen = 6,79 et σ = 0,48; fille/garçon = 127/135; gaucher/droitier = 29/233) et
- 192 en 1^{re} année de Cours Élémentaire (CE1; âge moyen = 7,77 et σ = 0,34; fille/garçon = 108/84; gaucher/droitier = 16/175).

Sur ces 705 élèves, 133 (18,87%) n'ont pas répondu à l'ensemble du questionnaire de la session 2 (pour plus de détails sur la passation de l'étude, se référer à la section 6.2.2 page 160), soit 35,86% des GS (90 enfants), 0,76% des CP (2 enfants) et 21,35% des CE1 (41 enfants).

Parmi les 41 classes d'écoles visitées, trois ont pu repasser une seconde fois l'ensemble de la procédure, soit 45 enfants dans le cadre de l'exercice 1, dont douze étaient en CP la première année de passation (les autres étaient alors en GS). Tous les enfants interrogés la première fois sont passés au niveau scolaire supérieur lors du second test. L'analyse comprend un nombre comparable de filles et de garçons.

6.1.2 Participants de l'exercice 2

Au sein des 797 enfants ayant pris part à l'étude, 706 ont pu participer à l'ensemble du protocole de l'exercice 2 interrogeant la synesthésie graphème-personnalité.

courantes.

Parmi eux,

- 251 étaient en Grande Section de Maternelle (GS ; âge moyen = 5,68 ans, $\sigma = 0,34$; fille/garçon = 120/131 ; gaucher/droitier = 27/224),
- 260 en Cours Préparatoire (CP ; âge moyen = 6,87 ans, $\sigma = 0,48$, fille/garçon = 126/134 ; gaucher/droitier = 28/232), et
- 195 en 1^{re} année de Cours Élémentaire (CE1 ; âge moyen = 7,76 ans, $\sigma = 0,34$; fille/garçon = 109/86 ; gaucher/droitier = 17/178).

Tous n'ont pas eu l'occasion de répondre aux questions phénoménologiques posées en fin de deuxième session (cf. section 6.2.2 page 160 concernant les détails de la procédure), dont 36,65% des GS (92 enfants), 1,15% des CP (3 enfants) et 22,56% des CE1 (44 enfants).

Parmi les 41 classes d'écoles visitées, trois ont pu repasser une seconde fois l'ensemble de la procédure, soit 40 enfants dans le cadre de l'exercice 2, dont treize étaient en CP la première année de passation (les 27 autres étaient en GS). Tous les enfants interrogés la première fois sont passés au niveau scolaire supérieur lors du second test. L'analyse comprend un nombre comparable de filles et de garçons.

6.1.3 Participants de l'exercice 3

Parmi les 797 enfants des 41 classes d'écoles publiques visitées, 697 enfants (entre 5 et 9,42 ans ; fille/garçon = 354/341, gaucher/droitier = 71/624) ont pu être présents pendant les deux sessions de l'exercice 3 (concernant la synesthésie de forme des nombres). Ces participants étaient répartis de la façon suivante :

- 247 étaient en Grande Section (GS ; âge moyen = 5,68 ans et $\sigma = 4,15$; fille/garçon = 121/125 ; gaucher/droitier = 27/220),
- 256 en Cours Préparatoire (CP ; âge moyen = 6,77 ans et $\sigma = 4,46$; fille/garçon = 124/132 ; gaucher/droitier = 27/228) et
- 194 en 1^{re} année de Cours Élémentaire (CE1 ; âge moyen = 7,78 ans et $\sigma = 4,10$; fille/garçon = 109/84 ; gaucher/droitier = 17/176).

Sur ces 697 enfants, 133 (19,08%) n'ont pas eu l'occasion de répondre aux questions phénoménologiques posées en fin de 2^e session (cf. section 6.2.2 page 160 pour plus de détails sur les conditions de passations), soit 34,41% des GS (85 élèves), 1,56% des CP (4 élèves) et 22,68% des CE1 (44 élèves).

Parmi les 41 classes d'écoles visitées, trois ont pu repasser une seconde fois l'ensemble de la procédure, soit 53 enfants dans le cadre de l'exercice 3, dont 18 étaient en CP la première année de passation (les 35 autres étaient en GS). Tous les enfants interrogés la première fois sont passés au niveau scolaire supérieur lors du second test. L'analyse comprend un nombre comparable de filles et de garçons.

6.2 Procédure

6.2.1 Expérience pilote

Des pré-tests ont été effectués pour optimiser le temps de passation et vérifier l'intelligibilité de toutes les consignes. Ils ont été réalisés par 27 élèves d'une classe à double niveau (16, 8 et 3 enfants de respectivement 8, 9 ou 10 ans) afin de vérifier que l'âge n'affectait pas la compréhension des consignes.

Comme pour l'étude principale, le pré-test était constitué de deux sessions. Le test de constance des associations synesthésiques est en effet utilisé pour distinguer synesthètes et non synesthètes dans la majorité des études (chez l'adulte, cf. Section 1.1 page 3, et chez l'enfant Simner et Bain, 2013; Simner *et al.*, 2009a; Simner et Hubbard, 2013). Ces deux sessions ont été séparées de 15 jours pour éviter que les enfants ne se souviennent des réponses données à la session précédente. Une session était constituée de 4 exercices :

- Dans le 1^{er} exercice, portant sur la synesthésie graphème-couleur, les élèves avaient pour consigne d'écrire les lettres de l'alphabet qu'ils connaissaient avec les couleurs fournies qui vont le mieux avec chaque lettre. Il leur était spécifié qu'ils pouvaient utiliser toutes les couleurs qu'ils désiraient. Venait ensuite le tour des chiffres de 0 à 9. Cet exercice est resté le même dans la tâche finale, mis à part son ordre dans la séquence de production (cf. causes de cette modification à la fin de cette Section) et la consigne précisant qu'il n'y a pas de bonne ou de mauvaise réponse. De plus, on ne spécifie plus à l'enfant qu'il doit utiliser la couleur convenant le mieux à chaque graphème. Se référer à la consigne de la version finale pour une meilleure visualisation de l'exercice (Figure 6.5, page 161).
- Le 2^e exercice porte sur la synesthésie graphème-personnalité mais en se

cantonnant au genre des lettres et des chiffres. Cet exercice est resté le même dans l'étude définitive, avec comme consigne : « Si les lettres et les chiffres étaient des personnes, seraient-ils des filles ou des garçons ? ». La suite de l'énoncé a changé entre les exercices pilote et final ; les lettres et les chiffres étaient écrits à la suite de la consigne dans la 1^{re} version, alors que ce n'était plus le cas dans la 2^{nde} puisqu'un aide-mémoire comprenant les lettres et les chiffres était distribué à part (Section 6.2.2, page 160). Dans les deux situations, l'enfant devait replacer les lettres et les chiffres dans un tableau à deux entrées : une colonne *filles* et une colonne *garçons* (Figure 6.3, page 161 pour une illustration de la version finale de cette activité).

- Le 3^e exercice interrogeait la même synesthésie que le 2^e mais à un niveau plus large. Pour pouvoir être plus compréhensible par des enfants, la notion de *personnalité* étant encore très opaque aux âges ciblés (cf. Section 2.2, page 43), nous avons choisi d'utiliser des personnages de littérature de jeunesse : les *Monsieur Madame* de Roger Hargreaves³. Ces livres mettant en scène des personnages ayant chacun une caractéristique particulière, il nous a paru intéressant de les utiliser pour permettre aux enfants de reporter à travers les *Monsieur Madame* les attributs que les enfants donneraient aux lettres/chiffres. L'exercice consistait donc en un tableau dont chaque cellule correspondait à un personnage. L'enfant devait replacer toutes les lettres et les chiffres de 0 à 9 dans le tableau sous le personnage les représentant le mieux. La figure 6.1 ci-dessous donne un exemple de réalisation de cet exercice.

3. édités en France par Hachette Jeunesse.

« Si les lettres et les chiffres étaient des personnages, lesquels seraient-ils ? Ecris les lettres et les chiffres sous le personnage qui lui correspond le mieux. N'oublie pas d'écrire ton prénom et la 1^{ère} lettre de ton nom de famille au dos de cette feuille. »

A-B-C-D-E-F-G-H-I-J-K-L-M-N-O-P-Q-R-S-T-U-V-W-X-Y-Z-1-2-3-4-5-6-7-8-9.

 Mme Pourquoi	 Mme Folette	 Mme Prudente	 Mme Farceuse	 Mme Tête-en-l'air	 Mme Bavarde	 Mme retard	 Mme Boulot
Q	K	5	3		B	P	4
 Mme Casse-pieds	 Mme Chipie	 Mme Caprice	 Mme Double	 Mme Coquette	 Mme Autoritaire	 Mme Timide	 Mme Terreur
L	3	I	Q	9	H	8	T
 Mme Acrobate	 Mme Catastrophe	 M. Farceur	 M. Pressé	 M. Curieux	 M. Endormi	 M. Farfelu	 M. Malchance
X	C	F	J	N	O	V	Z
 M. Bagarreux	 M. Joyeux	 M. bizarre	 M. Grognon	 M. Bavard	 M. A l'Envers	 M. Chatouille	 M. Malpoli
D	U	S	X	V	E	6	7
 M. Atchoum	 M. Malin	 M. Rêve	 M. Peureux				
A	G	W	R				

Fig. 6.1: Exemple de réalisation du 3^e exercice pilote, traitant de la synesthésie graphème-personnalité, lors de sa 1^{re} session. La consigne était écrite en haut de la feuille.

Cet exercice a cependant été supprimé car il demandait beaucoup de temps et n'était pas très bien compris par les enfants ayant des difficultés en lecture ou ne connaissant pas bien ces personnages. Les enfants paraissaient avoir des difficultés à comprendre certains traits de personnalité représentés, ce qui renforcerait l'idée avancée dans la littérature scientifique d'un développement lent du concept de personnalité chez les enfants (cf. Section 2.2, page 43).

– Le 4^e et dernier exercice, renuméroté 3^e dans la version finale de l'étude,



Fig. 6.2: Exemple de différentes associations colorées (lettres/chiffres/jours-couleurs) présentes dans une même classe. Chaque classe visitée avait au moins un alphabet affiché.

portait sur la synesthésie de forme des nombres (cf. Section 2.3, page 59, pour un rappel concernant les termes employés pour définir cette synesthésie). Les élèves avaient pour consigne d'écrire les nombres de 0 à 25 à l'endroit où ils le souhaitaient sur la feuille. Cet exercice est resté exactement le même dans la version finale ; les enfants n'ont pas rencontré de problème particulier pour l'effectuer.

De manière plus générale, le changement majeur entre l'étude pilote et la procédure définitive, hormis la suppression d'un exercice, a été l'évolution de l'ordre de passation des différents exercices. Seul l'exercice 1 demandait des crayons de couleur, mais les élèves continuaient de répondre en couleur pour les autres exercices, ce qui rallongeait considérablement le temps de passation. Pour éviter cela, l'exercice portant sur la synesthésie lettre/chiffre-couleur (i.e. l'exercice 1) a été distribué avec les crayons de couleur après la réalisation des deux autres exercices. Du fait du grand nombre d'alphabets (colorés ou non) affichés dans les classes (e.g.

Figure 6.2, page 159), un aide-mémoire alphabétique (i.e. l'alphabet en entier et les nombres de 0 à 25) a été distribué aux enfants en début de passation afin d'éviter une perte de temps (l'enfant regardant régulièrement l'alphabet affiché au mur pour se rassurer ou se repérer) mais surtout une trop forte incitation à l'utilisation des mêmes associations colorées que celles présentes dans la classe.

6.2.2 Etude définitive

Tous les enfants inclus dans les résultats présentés ci-après ont réalisé deux fois au moins un de nos trois exercices, dans deux sessions différentes. Au moins quinze jours séparaient les deux sessions pour chaque enfant (écart moyen entre les sessions 1 et 2 = 25.05 jours, Écart Type = 9.87 jours). Chacune d'entre elles est composée de trois travaux correspondants à chaque synesthésie étudiée (i.e. la synesthésie graphème-couleur, la synesthésie graphème-personnalité et la synesthésie forme des nombres), quel que soit le niveau de l'enfant (i.e. GS, CP ou CE1). La passation se déroulait en classe entière mais chaque enfant pouvait répondre à son rythme. Les consignes étaient d'abord données à l'oral à tout le monde en même temps, rappelées à l'écrit en haut de la feuille d'exercice, et ré-expliquées ensuite individuellement si nécessaire. Aucune information sur la véritable nature de la recherche n'était transmise aux enfants avant la fin de la 2^e session. Les élèves savaient que mon travail était de comprendre comment les enfants s'imaginent les lettres et les chiffres ; il n'y avait donc pas de bonne ou de mauvaise réponse aux exercices, mis à part recopier les réponses des voisins : ce ne serait alors pas leur propre imagination. Chaque exercice était présenté sur sa propre feuille blanche au format A4. Les exercices 2 (interrogeant la synesthésie graphème-personnalité, Figure 6.3) et 3 (concernant la synesthésie de forme des nombres, Figure 6.4) étaient distribués en premier aux enfants. Ils devaient y répondre au crayon à papier ou au stylo. Un aide-mémoire alphabétique était dispensé en même temps à chaque enfant (cf. section 6.2.1 page 156). Quand ces deux activités étaient terminées, l'enfant se voyait remettre l'exercice 1 (portant sur la synesthésie graphème-couleur, Figure 6.5) et un pot de douze crayons de couleur (les mêmes coloris que ceux proposés par Simner (Simner *et al.*, 2009a)

<p>« Si les lettres et les chiffres étaient des personnes, seraient-ils des filles ou des garçons ? Remplace chaque lettre que tu connais dans la colonne du tableau qui correspond le mieux (il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses). Fais la même chose avec les chiffres de 1 à 9. N'oublie pas d'écrire ton prénom et la 1^{ère} lettre de ton nom de famille au dos de cette feuille. »</p>	
	

Fig. 6.3: Consigne du 2^e exercice, concernant la synesthésie graphème-personnalité.

<p>« Écris les nombres de 0 à 25 où tu le veux sur la feuille. N'oublie pas d'écrire ton prénom et la 1^{ère} lettre de ton nom de famille au dos de cette feuille. »</p>

Fig. 6.4: Consigne du 3^e exercice, étudiant la synesthésie de forme des nombres.

<p>« Ecris chaque lettre de l'alphabet que tu connais en couleur ; il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses. Fais la même chose avec les chiffres de 0 à 9. N'oublie pas d'écrire ton prénom et la 1^{ère} lettre de ton nom de famille au dos de cette feuille. »</p>

Fig. 6.5: Consigne du 1^{er} exercice, traitant de la synesthésie graphème-couleur.

exception faite du blanc⁴ ; cf. section 6.2.1, page 156 pour plus de détails sur l'ordre de passation).

La passation d'une session durait en moyenne 2 heures (1/2 heure par exercice et 1/2 heure d'installation et d'explication des consignes).

Quand il restait du temps à la fin de la 2^e session, des questions étaient posées aux enfants pour interroger la constance et le caractère automatique de leur expérience synesthésique. Ces questions permettent de distinguer les synesthètes des non-synesthètes parmi les adultes (Eagleman *et al.*, 2007). Chez l'enfant, Simner et ses collaborateurs (Simner *et al.*, 2009a) ont pu utiliser le questionnaire pour attester de la synesthésie d'un enfant par rapport à un participant qui aurait seulement bien mémorisé ses associations. Dans cette dernière étude, les questions étaient les suivantes :

1. « When playing the game, did you know for certain what the colours should be » (i.e. Lorsque tu jouais au jeu, étais-tu sûr de ce que les couleurs devaient être) ?
2. « When you see or think about letters or numbers, do you automatically have a colour for them » (i.e. Quand tu vois ou que tu penses à des lettres ou des chiffres, as-tu automatiquement une couleur à leur attribuer) ?
3. « Do your colours for letters or numbers stay the same » (i.e. Les couleurs de tes lettres ou de tes chiffres restent-elles les mêmes) ?

L'enfant devait choisir une réponse de fréquence pour chaque question (jamais, presque jamais, pas très souvent, parfois, souvent, toujours). Dans notre étude, les questions étaient posées individuellement autant que faire se peut, mais en restant dans la classe de l'enfant, à son bureau. Certains élèves ont alors pu entendre et reproduire les réponses de leurs voisins. Le questionnaire a parfois été passé en classe entière et d'autres enfants n'ont pas répondu aux questions faute de temps

4. Les couleurs employées sont donc : noir, gris, bleu foncé et bleu clair, vert foncé et vert clair, rose, violet, rouge, orange, jaune, marron. L'utilisation de crayons de couleur pour collecter les alphabets colorés des synesthètes a déjà été employé par Day (2005) qui remarque que le choix de ces couleurs (Berlin et Kay, 1969) permet aux synesthètes d'avoir une base sur laquelle s'appuyer pour définir leurs propres nuances. Day (2005) observe que le manque de rigueur scientifique qu'entraîne l'utilisation de crayons de couleur est largement compensée par l'amusement qu'elle provoque, ce qui permet une certaine bienveillance des participants quant à de futures participations. J'ai pu effectivement observer que l'usage des crayons de couleurs mettait les enfants dans de bonnes prédispositions.

(18,87% des enfants dans le 1^{er} exercice, 19,69% dans le 2^{ème} et 19,11% dans le 3^{ème}). Nos cinq questions interrogeaient la constance et le caractère automatique de chaque type d'associations synesthésiques :

- pour la synesthésie lettre/chiffre-couleur :
 1. « Étais-tu sûr de la couleur que la lettre devait avoir ? Cette couleur reste-t-elle tout le temps la même ? »
 2. « As-tu des lettres colorées sur ton frigo ou dans tes jouets ? »
 3. « As-tu utilisé la même couleur dans l'exercice ? »

Ces deux dernières questions font références aux études de Witthoft et ses collaborateurs démontrant une ressemblance importante entre les associations graphème-couleur de certains synesthètes et les associations colorées provenant d'un jeu pour enfant (Witthoft et Winawer, 2006; Witthoft *et al.*, 2015; cf. section 3.3, page 97).

- pour la synesthésie lettre/chiffre-personnalité :
 1. « Étais-tu sûr(e) que tel/le lettre/chiffre était un garçon/une fille ? Est-ce qu'il/elle peut changer ou est-ce qu'il/elle est toujours un garçon/une fille ? »
- pour la synesthésie de forme des nombres :
 1. « Est-ce que les chiffres sont rangés tout le temps de la même façon dans ta tête ? »
 2. « Si oui, quelle forme prend ce rangement, comment sont-ils rangés ? »

L'ensemble de la procédure décrite ci-dessus a pu être suivie dans son intégralité une seconde fois par certains enfants parmi les trois écoles revisitées la deuxième année. Cela a permis un suivi des associations de ces enfants, et ainsi de faire une étude longitudinale de ces enfants.

Traitement des données des études de prévalence de la synesthésie chez l'enfant

7.1 Sélection des synesthètes

Dans les chapitres précédents, la définition de la synesthésie a été interrogée (voir la section 1.1, page 3). Selon les critères de cette définition que nous décidons de garder, le nombre de synesthètes de notre échantillon change. Comme pour la majorité des études sur la synesthésie et plus particulièrement l'étude de Simner et collaborateurs (Simner et Bain, 2013; Simner *et al.*, 2009a), les critères d'inclusion d'un enfant dans le groupe des synesthètes sont : le niveau de constance (vérifié visuellement pour la synesthésie de forme des nombres et statistiquement pour les deux autres synesthésies; Hubbard *et al.*, 2009; Simner et Bain, 2013; Simner *et al.*, 2009a; Simner et Holenstein, 2007; Ward et Mattingley, 2006), ou le niveau phénoménologique (i.e. la réponse de l'enfant aux questions posées en fin de deuxième session). Pour considérer un enfant comme synesthète trois étapes d'analyse ont donc été mises en place.

7.1.1 Première étape : La constance des associations synesthésiques, critères statistiques et visuels

Synesthésies Graphème-Personnalité et Graphème-Couleur : critères statistiques

Mise en forme des données, informatisation les productions écrites :
Afin de faciliter le traitement des données récoltées, les productions graphiques

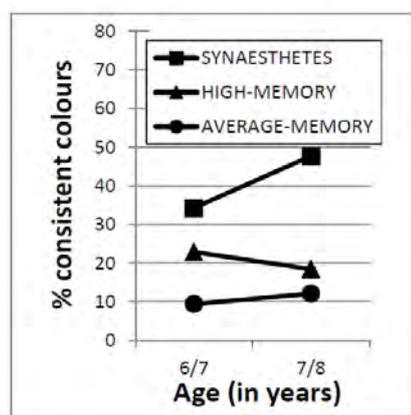


Fig. 7.2: Pourcentage de couleurs constantes d'une session à l'autre selon le groupe de participants (synesthètes et non-synesthètes bons mémorisateurs ou de capacité mnésique moyenne; respectivement "synaesthetes", "high-memory" et "average-memory") **de l'étude de Simner et collaborateurs (2009a)**. Ici, le nombre d'associations fixes est calculé à partir du premier test de la 1^{re} session; la session 1 correspond donc au retest immédiat et la session 2 à celui effectué 12 mois plus tard. Le nombre d'associations fixes augmente d'une session à l'autre pour le groupe des synesthètes contrairement aux deux groupes des non-synesthètes.

et collaborateurs (Simner et Bain, 2013; Simner *et al.*, 2009a) ont montré que le niveau de constance évolue avec l'âge. De plus, des enfants appelés dans cette étude « non-synesthètes bons mémorisateurs » ("high-memory non-synesthetes") ont effectué autant d'associations similaires en 1^{re} et 2^e sessions que les synesthètes. C'est l'analyse du nombre d'associations similaires et des temps de réponse (l'étude ayant été faite par ordinateur, les temps de réponse ont pu être enregistrés) entre ces deux sessions et une 3^e, douze mois plus tard, qui ont permis de les différencier. En effet, le nombre d'associations fixes augmentait entre ces sessions chez les synesthètes mais restait stable chez les bons mémorisateurs (cf. Figure 7.2). De plus, les bons mémorisateurs étaient plus lents pour effectuer leurs associations que les synesthètes. Ces résultats sont reproduits par la suite avec les mêmes enfants plus âgés (Simner et Bain, 2013).

Dans notre étude, nous n'avons pas de retest immédiat, ni de 3^e ou de 4^e sessions auxquelles comparer l'évolution du nombre d'associations fixes (si ce n'est dans

le cas de trois écoles pour la synesthésie Graphème-Couleur, pour la synesthésie Graphème-Genre, et pour la synesthésie Forme des nombres). De plus, comme les enfants font leurs associations par écrit et non par ordinateur, nous ne pouvons calculer précisément le temps d'exécution des associations. Pour pouvoir séparer les bons mémorisateurs des synesthètes dans notre étude, le nombre d'associations fixes entre deux sessions sera comparé au nombre d'associations fixes possibles par hasard. Puis, les productions de chaque synesthète potentiel seront vérifiées pour chaque synesthésie étudiée afin de s'assurer qu'aucune stratégie ne permette à un enfant de faire partie du groupe définitif des synesthètes sans l'être pour autant (section 7.1.3, page 172).

Calcul du nombre de synesthètes en fonction du niveau de constance permis par le hasard : La méthode employée par Simner et collaborateurs (2009a) et précédemment citée ne peut pas être utilisée ici : outre le nombre différent de sessions entre notre étude (i.e. 2 sessions) et l'étude de référence (i.e. 3 sessions), les enfants ont pu oublier d'écrire certaines lettres, et alors ils ne seraient pas plus constants que la moyenne de l'ensemble de l'échantillon interrogé (critère utilisé par l'étude de référence pour considérer un individu comme synesthète ; dans cette étude, sont considérés comme synesthètes les individus dont le nombre d'associations constantes constitue un point extrême par rapport à la distribution des scores de l'ensemble des enfants). Sont alors considérés comme statistiquement synesthètes les enfants dont le nombre d'associations fixes, entre la Session 1 (S1) et la Session 2 (S2), a moins de 5% de chance d'être observé dans un échantillon dont les associations se font au hasard. Ce nombre d'associations est calculé indépendamment du modèle d'écriture employé par l'enfant (script, cursive, ...). Ce niveau de hasard pourrait être calculé de façon exacte selon les lois de probabilité, à partir du nombre de graphèmes demandés et du nombre de couleurs proposées (i.e. loi binomiale, en considérant que les deux « tirages » –i.e. choix d'une couleur pour une lettre donnée– sont indépendants et faits au hasard). Cependant, certains enfants ont oublié des graphèmes ou ont associé un même graphème à plusieurs concurrents différents, nous obligeant à éliminer ce graphème de l'analyse. De même, tous les enfants n'ont pas employé le même nombre de concurrents. Dans ces deux cas, le niveau de constance (i.e. le nombre d'associations similaires

entre les sessions) en sera biaisé ; un enfant synesthète ayant moins écrit de lettres risque de ne pas être considéré comme synesthète, et inversement, un participant qui utilise peu de couleurs est susceptible de produire davantage d'associations similaires et pourra de ce fait être considéré comme un synesthète sans en être un. Pour éviter ces biais et calculer le niveau de hasard au plus proche de la production de l'enfant, nous avons donc utilisé des simulations pour estimer le niveau de hasard en fonction du nombre de fois où un inducteur (i.e. les lettres et/ou les chiffres selon la synesthésie interrogée) et un concurrent (i.e. une couleur, un genre ou une personnalité selon la synesthésie étudiée) sont présents, par session et par participant. Par exemple, si dans la session 1 de l'exercice 1 (i.e. interrogeant la synesthésie Graphème-Couleur), un enfant X écrit 20 lettres et les chiffres de 1 à 8, et utilise sept couleurs, et dans la session 2 seulement dix lettres en utilisant trois couleurs, il n'est pas évident de déterminer le modèle probabiliste permettant d'estimer le nombre de choix identiques apparaissant par hasard. Les simulations ont été calculées par une méthode de type Monte Carlo¹. Le principe des statistiques Monte Carlo est de calculer un grand nombre de valeurs numériques par un procédé aléatoire. Nous avons donc établi ici le niveau d'associations prédit par le hasard pour chaque enfant, en fonction des lettres et des chiffres, des couleurs, des genres ou des personnalités, utilisés :

1. 50 000 tirages aléatoires sont effectués par participant à partir des associations faites en S1. Si on reprend l'exemple de X, quand nous avons simulé sa session 1, un tirage correspond à l'attribution d'une des sept couleurs utilisées à l'un des 28 graphèmes présents dans sa vraie session 1, en fonction du nombre de fois où il a employé chaque couleur.
2. La même méthode est employée pour produire 50 000 tirages aléatoires par participant à partir des associations faites en S2. Dans le cas de X, nous avons simulé l'association d'une des trois couleurs employées dans la session 2 à un des dix graphèmes présents dans cette vraie session 2, en fonction de leur fréquence d'apparition dans cette même session ; nous avons effectué l'opération 50 000 fois.

1. Les traitements des données ont été effectués grâce au logiciel Matlab. Cette méthode a déjà été employée dans d'autres recherches du domaine (Simner *et al.*, 2011b; Wagner et Dobkins, 2011)

3. La distribution du nombre d'associations similaires entre les 50 000 tirages de la session 1 et les 50 000 tirages de la session 2 du participant correspond à ce que prédit le hasard.
4. Le niveau de constance du participant entre S1 et S2 est calculé et comparé à cette distribution. Si le nombre d'associations similaires entre S1 et S2 est supérieur à 95% de la distribution aléatoire, l'enfant est considéré comme un synesthète potentiel.

Synesthésie Forme des nombres : critères visuels

Les productions graphiques de chaque enfant ont été confrontées visuellement d'une session à l'autre. Un enfant est considéré comme synesthète potentiel² visuellement lorsque ses productions graphiques sont identiques d'une session à l'autre, à 2 éléments près pour les formes géométriques classiques (i.e. cercle, triangle, rectangle ; Figure 7.3). Les Formes « sortant de l'ordinaire » (i.e. les nombres ne sont pas organisés en ligne droite de gauche à droite ; Figure 7.3 sous-figures c et d) et dont la forme se répète dans les différentes sessions ont elles aussi été considérées comme synesthésiques, même si les nombres n'étaient pas ordonnés exactement de la même manière.

7.1.2 Deuxième étape : La réponse au questionnaire oral, critère phénoménologique

Ce critère est le même pour toutes les synesthésies étudiées. Si un enfant répond positivement à une des questions de l'entretien à la suite de la session 2 (mis à part les deux questions concernant la possession et l'utilisation des couleurs de lettres aimantées), il sera considéré comme synesthète potentiel de façon phénoménologique.

Pour rappel, les questions posées étaient les suivantes :

- pour la synesthésie lettre/chiffre-couleur :

2. Dans le cadre des critères statistiques, visuels et phénoménologiques, le concept de *synesthète potentiel* sera employé pour parler des enfants qui paraissent synesthètes. Les enfants employant des stratégies peuvent être inclus dans cette appellation. La question des stratégies est abordée en section 7.1.3 page 172.

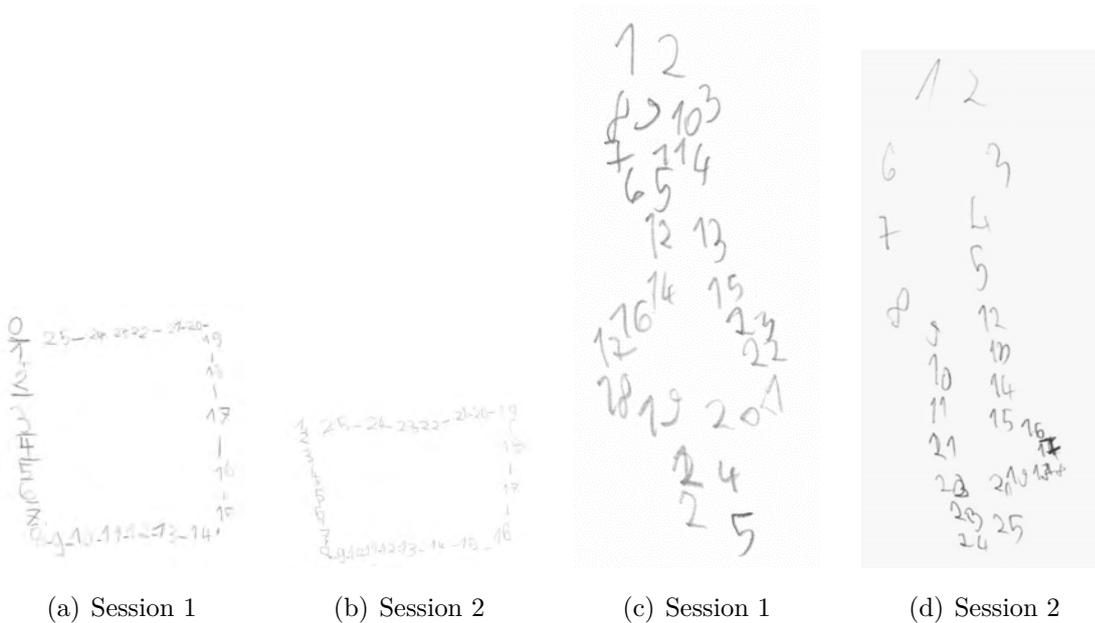


Fig. 7.3: (a et b) **Agencement des nombres de 0 à 25 dans l'espace par F_{342} , un enfant de CP, selon la session.** Dans les deux sessions l'agencement des nombres suit la forme d'un carré. Les changements de sens sont organisés de la même façon dans les deux sessions : de haut en bas de 0/1 à 8 puis de gauche à droite, puis de bas en haut, pour finir par revenir de droite à gauche. Le premier changement de sens est effectué au niveau du chiffre 8 dans les deux sessions, et est séparé de moins de 2 chiffres dans les autres (le deuxième angle est fait soit entre 14 et 15 soit à 16, et le troisième entre 19 et 20 ou à 19). Cet enfant est donc considéré comme potentiellement synesthète Forme des nombres. (c et d) **Agencement des nombres de 0 à 25 dans l'espace de L_{610} (un enfant de CP) selon la session.** Les deux figures ne sont pas totalement identiques mais restent proches. Ces deux enfants sont considérés comme des synesthètes potentiels.

1. « Étais-tu sûr de la couleur que la lettre devait avoir ? Cette couleur reste-t-elle tout le temps la même ? »
 2. « As-tu des lettres colorées sur ton frigo ou dans tes jouets ? »
 3. « As-tu utilisé la même couleur dans l'exercice ? »
- pour la synesthésie lettre/chiffre-personnalité :
1. « Étais-tu sûr(e) que tel/le lettre/chiffre était un garçon/une fille ? Est-ce qu'il/elle peut changer ou est-ce qu'il/elle est toujours un garçon/une fille ? »
- pour la synesthésie de Forme des nombres :
1. « Est-ce que les chiffres sont rangés tout le temps de la même façon dans ta tête ? »
 2. « Si oui, quelle forme prend ce rangement, comment sont-ils rangés ? »

Comme certains enfants inclus dans l'analyse n'ont pas pu répondre aux questions (cf. section 6.2.2, pages 160), le taux de synesthètes potentiels phénoménologiquement n'est pas effectué sur l'ensemble des enfants participants à chaque synesthésie, mais sur l'ensemble des enfants ayant pu répondre aux questions (par synesthésie). Pour certains synesthètes potentiels au niveau statistique, le critère phénoménologique n'a donc pas pu être vérifié.

7.1.3 Troisième étape : Suppression des « stratégies »

Dans cette étude, les enfants considérés comme synesthètes potentiels au niveau statistique (section 7.1.1, page 165) ne sont pas forcément les mêmes que ceux qui sont potentiellement synesthètes phénoménologiquement (7.1.2, page 170). De plus, des enfants ont pu utiliser des stratégies (des exemples seront décrits et illustrés à chaque type de synesthésie), permettant de leur ouvrir la porte du groupe des synesthètes potentiels, que ce soit au niveau statistique ou au niveau phénoménologique. En effet, l'utilisation d'une logique dans l'attribution du concurrent à l'inducteur permet à des enfants :

1. d'avoir un niveau de constance plus important que celui défini par le hasard (ces enfants sont alors statistiquement considérés comme synesthètes potentiels sans l'être réellement) ;

2. de répondre positivement aux questions posées sans être synesthètes (e.g. à la question : « Est-ce que tu associes tout le temps la même couleur aux lettres de l'alphabet ? », l'enfant va répondre positivement car il n'utilise qu'une seule et même couleur pour tous les graphèmes).

Dans la synesthésie Graphème-Couleur

Les règles suivantes ont permis d'exclure les enfants stratèges quel que soit le critère considéré pour l'inclusion des synesthètes (i.e. niveau de constance ou phénoménologique) :

1. Tout enfant ayant recours à une stratégie pour associer les couleurs aux lettres/chiffres dans l'une de ses deux sessions est supprimé de la liste des synesthètes potentiels. Sont considérées comme stratégies :
 - le fait de colorer tous les caractères de la synesthésie étudiée d'une seule et même couleur (cette façon d'associer graphème et couleur est aussi un critère d'exclusion du groupe de synesthètes dans l'étude de prévalence chez l'adulte de Simner *et al.*, 2006b). L'enfant qui associe tous les graphèmes de l'exercice à une même couleur est déjà supprimé de la liste des synesthètes potentiels Lettre/Chiffre-Couleur lors de l'analyse automatisée),
 - le fait d'utiliser une séquence de couleurs (e.g. utiliser deux couleurs en quinconce, une couleur par groupe de trois lettres, les douze couleurs les unes à la suite des autres et le répéter jusqu'à la fin (Figure 7.4.a, .b et .c), etc. Cet agencement est considéré comme stratégique même s'il peut se retrouver dans les alphabets de certains synesthètes (l'alphabet coloré de la synesthète A.E.D. dans l'étude de Witthoft et Winawer, 2006, suit une séquence particulière ; Figure 7.4.d). En effet, les alphabets des synesthètes, et en particulier celui de la synesthète A.E.D., sont principalement interrogés par ordinateur. Cela permet un plus grand choix de couleurs et de présenter les graphèmes un par un. De même, couleurs et graphèmes sont affichés à l'écran dans un ordre aléatoire et différents à chaque test. Or, les enfants de cette étude ont écrit les graphèmes sur une feuille ; ils pouvaient, dans une même session, revoir les précédentes associations et colorer les graphèmes suivants en fonction. Cela augmente donc la possi-

7. TRAITEMENT DES DONNÉES DES ÉTUDES DE PRÉVALENCE
174 DE LA SYNESTHÉSIE CHEZ L'ENFANT

bilité qu'un enfant soit considéré comme synesthète de façon statistique, sans qu'il le soit pour autant.

(a) Session 1 de R_{675} (b) Session 2 de R_{675} 

(c) Associations rangées dans l'ordre alphabétique, Sessions 1 et 2



(d) Alphabet coloré de la synesthète A.E.D.

Fig. 7.4: **L'alphabet coloré de R_{675}** (en CE1) selon la session (a et b). (c) Les illustrations permettent de mieux appréhender les séquences de couleurs utilisées par R_{675} en session 1 (en haut) et en session 2 (en bas) ; ces séquences lui permettent d'avoir treize graphèmes similaires entre les deux sessions. (d) Alphabet coloré de la synesthète A.E.D (Witthoft et Winawer, 2006) basé sur une séquence de six couleurs.

7. TRAITEMENT DES DONNÉES DES ÉTUDES DE PRÉVALENCE
176 DE LA SYNESTHÉSIE CHEZ L'ENFANT

- le fait de finir l'alphabet avec une couleur ou de l'utiliser très majoritairement (Figure 7.5).

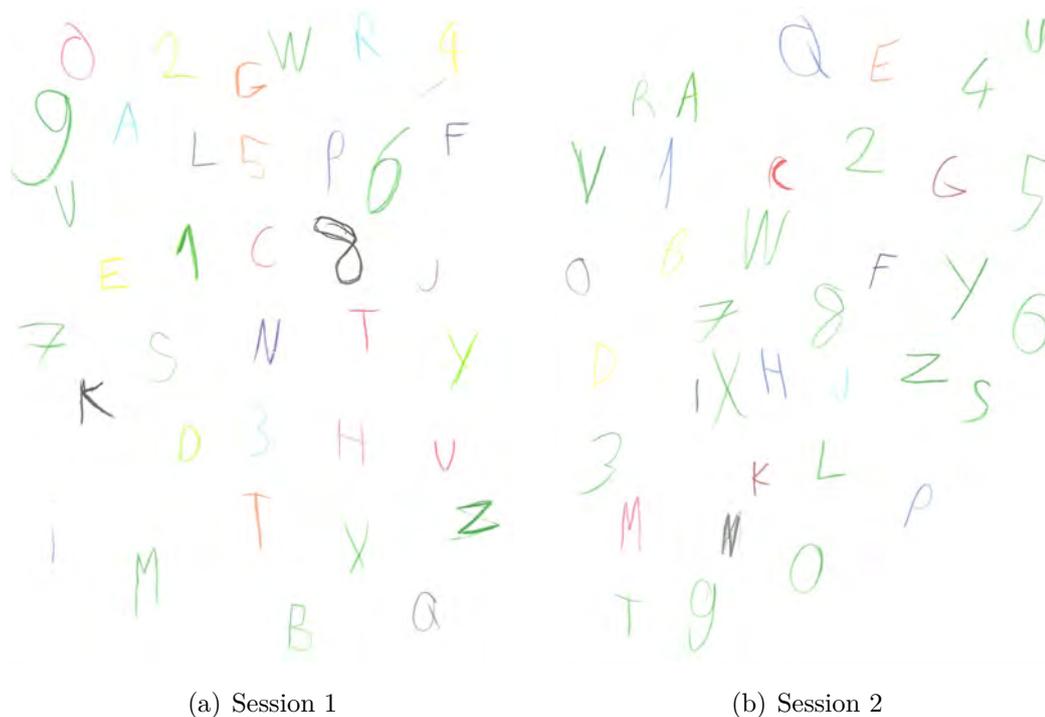


Fig. 7.5: **Alphabet coloré d'un enfant de CP (L_{376}) selon la session.** Il a utilisé majoritairement le vert foncé dans les deux sessions, ce qui lui permet d'avoir onze graphèmes similaires entre ses deux sessions.

Ne sont pas considérées comme stratégies :

- le fait de colorer deux ou trois lettres de la même façon mais de manière isolée (Figure 7.6) ; cette technique peut se retrouver dans l'alphabet coloré de synesthètes adultes.



Fig. 7.6: Production de S_{681} (CE1) selon la session. Cet enfant a parfois utilisé une même couleur pour plusieurs lettres qui se suivent (e.g. **H I** en session 1 ou encore **Q R S** en session 2). Il est tout de même considéré comme synesthète potentiel au niveau statistique.

- le fait de regrouper des caractères dans des ensembles en les entourant de la même couleur, si les lettres et les chiffres sont eux-mêmes écrits de diverses couleurs sans stratégie apparente (Figure 7.7).



Fig. 7.7: Alphabet coloré d'un enfant de Grande Section de Maternelle (M_{168}) selon la session. Certaines lettres ont été entourées, mais chaque lettre possède sa propre couleur. Le nombre d'associations fixes entre les sessions 1 et 2 (**B F M O** et **R**) est supérieur au hasard pour cet enfant ; il est considéré comme synesthète potentiel Lettre-Couleur au niveau statistique.

2. Si un enfant potentiellement synesthète Lettre-Couleur et Chiffre-Couleur se sert d'une stratégie dans une des deux catégories (lettres ou chiffres), il est

automatiquement supprimé de la liste des synesthètes potentiels relative à cette catégorie mais restera un synesthète potentiel pour l'autre catégorie (Figure 7.8). En effet, certains synesthètes adultes décrits dans la littérature ne présentent qu'une des synesthésies étudiées ici (Lettre-Couleur ou Chiffre-Couleur ; 2.1.2, page 42). De même, si un enfant est potentiellement synesthète pour les lettres ou les chiffres et pour les graphèmes en général, utiliser une stratégie pour associer les couleurs soit aux lettres soit aux chiffres le supprime automatiquement de la liste des synesthètes potentiels Lettre/Chiffre-Couleur.

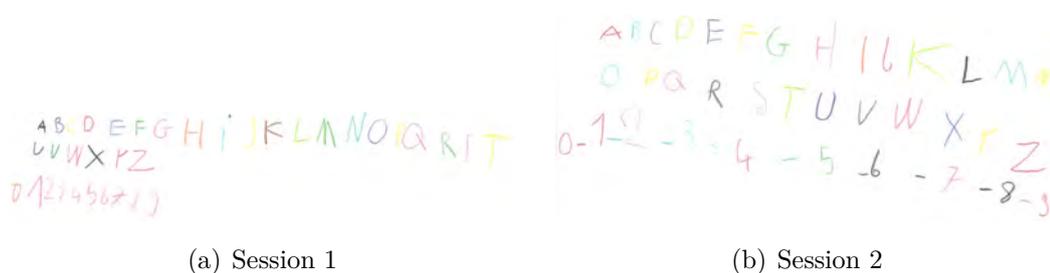


Fig. 7.8: Production d'un enfant de CP, L_{387} , considéré comme synesthète potentiel Lettre/Chiffre-Couleur (huit graphèmes communs entre S1 et S2) et Lettre-Couleur (5 lettres communes entre S1 et S2). La majorité de ses chiffres sont roses dans la session 1 ; il ne peut être considéré comme synesthète Chiffre-Couleur ou Lettre/Chiffre-Couleur. Il reste cependant dans la liste des synesthètes Lettre-Couleur.

3. Si un enfant est potentiellement synesthète de façon statistique dans une catégorie (e.g. en synesthésie Lettre-Couleur) mais pas dans une autre (i.e. Chiffre-Couleur), le fait de ne pas utiliser de stratégie dans cette autre catégorie ne lui permet pas d'être considéré comme synesthète dans cette autre catégorie (e.g. Chiffre-Couleur), même s'il paraît pouvoir l'être. Cette règle est vraie, que l'enfant soit considéré au final comme synesthète ou non dans la catégorie de départ (e.g. Lettre-Couleur). Elle est aussi vraie même si l'enfant est considéré comme synesthète potentiel Lettre/Chiffre-Couleur (e.g. Y_{706} , Figure 7.9).



Fig. 7.9: Alphabet coloré de Y_{706} , enfant considéré comme synesthète Lettre/Chiffre-Couleur et Lettre-Couleur de manière statistique. Il n'utilise aucune stratégie, que ce soit pour associer les lettres ou les chiffres à des couleurs. De plus, deux de ses chiffres sont associés à une même couleur en sessions 1 et 2 (4 et 9) ou à des couleurs proches (0-0, 1-1 et 8 et 8). Y_{706} ne sera pourtant pas considéré comme synesthète potentiel Chiffre-Couleur, mais seulement comme synesthète potentiel Lettre/Chiffre-Couleur et Lettre-Couleur.

4. Si un enfant apparaît comme synesthète potentiel de façon phénoménologique, il sera compté comme tel, qu'il fasse ou non des associations similaires entre sa 1^{re} et sa 2^e session (e.g. C., Figure 7.10).



Fig. 7.10: **Production de C_{313} (CP) considérée comme synesthète potentielle Lettre-Couleur et Chiffre-Couleur de manière phénoménologique.** Elle n'a pourtant aucune lettre colorée de façon similaire entre ses deux sessions (elle a cependant deux lettres aux nuances proches : a-A et p-P).

- De même, quand l'enfant dit être synesthète et donne des exemples d'associations, même si ces associations ne sont pas les mêmes dans ses deux sessions, l'enfant est considéré comme synesthète potentiel au niveau phénoménologique (cf. J_{582} , Figure 7.11).

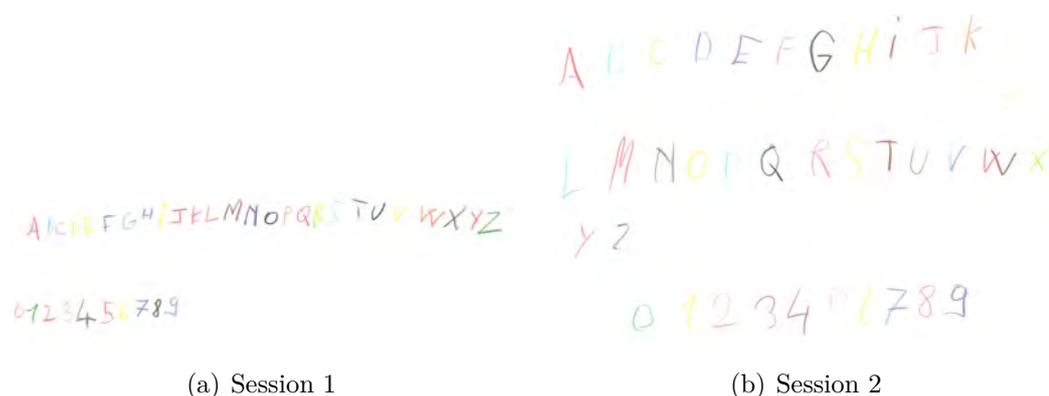


Fig. 7.11: **Alphabet coloré de J. (CE1) considéré comme synesthète Lettre-Couleur et Chiffre-Couleur de manière phénoménologique.** Elle a donné comme exemple d'associations synesthésiques ses lettres M, R, A et J. Elle n'a pourtant que le A similaire entre ses deux sessions (M-M et R-R et J-J).

Dans la synesthésie Graphème-Genre/Personnalité

Comme pour les deux autres synesthésies étudiées, l'utilisation d'une méthode systématique apparente dans l'attribution du concurrent à l'inducteur (i.e. de la personnalité ou du genre aux lettres, aux chiffres ou aux graphèmes) est un critère

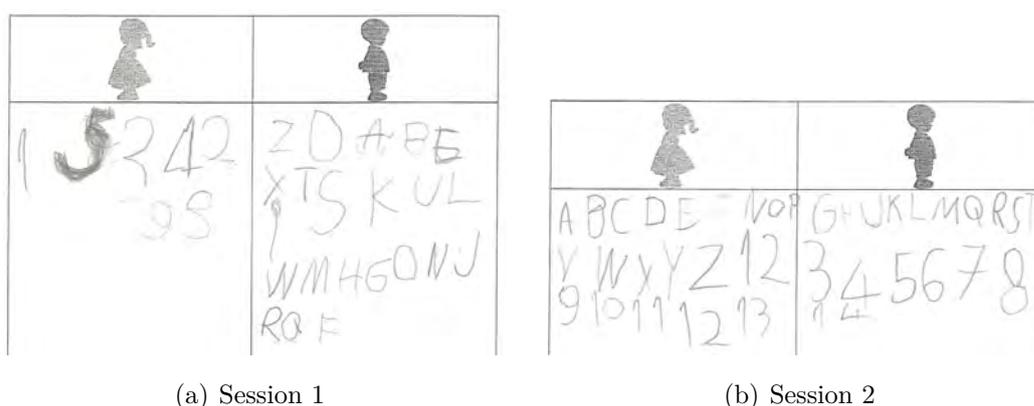


Fig. 7.12: Productions écrites de A_{18} (GS). Cet enfant n'est pas considéré comme un synesthète Lettre-Genre car, dans sa première session, il considère toutes ses lettres comme masculines. De même, le fait d'avoir classé tous ses chiffres comme féminins (dans la session 1) le supprime de la liste des synesthètes potentiels Chiffre-Genre.

d'exclusion de l'enfant du groupe des synesthètes. Chaque synesthésie est là aussi étudiée séparément.

Tout enfant ayant recours à une stratégie pour associer une personnalité aux lettres/chiffres dans l'une de ses deux sessions est exclu de la liste des synesthètes potentiels. Sont considérées comme stratégies le fait :

- de considérer tous les caractères de la synesthésie étudiée comme étant d'un seul et même genre (Figure 7.12; l'enfant qui associe tous les graphèmes de l'exercice à un même genre est déjà supprimé de la liste des synesthètes potentiels Graphème-Genre selon le critère de constance lors de l'analyse automatisée),
- d'associer un graphème sur deux à un même genre (synesthésie Graphème-Genre; figure 7.13),
- d'associer graphème et personnalité dans l'ordre (i.e. alphabétique/numérique) (lettre/chiffre) et suivant l'ordre de présentation (i.e. ordre établi par le tableau; synesthésie Graphème-Personnalité; cf. figure 7.14).

Si un enfant est considéré comme synesthète potentiel Lettre/Chiffre-Concurrent (e.g. Lettre/Chiffre-Personnalité) et qu'il utilise une de ces stratégies pour associer soit ses lettres soit ses chiffres au concurrent, il sera alors supprimé de la synesthésie Lettre/Chiffre-Concurrent (e.g. Lettre/Chiffre-Personnalité), puisque



(a) Session 1

(b) Session 2

Fig. 7.13: Productions de E_{pilote} , une élève ayant participé à l'étude pilote.

Elle est considérée comme synesthète potentielle Lettre/Chiffre-Genre, Lettre-Genre et Chiffre-Genre au niveau statistique. Pourtant elle n'est pas retenue dans le groupe final des synesthètes Lettre-Genre car elle considère une lettre sur deux comme féminine dans au moins une de ses deux sessions (ici cette enfant a utilisé cette stratégie dans les deux). Elle ne peut donc pas non plus être considérée comme synesthète Lettre/Chiffre-Genre car il faudrait que chiffre et lettre soient associés sans aucune stratégie à des genres. Il se trouve que cette enfant a utilisé la même stratégie pour associer les chiffres aux genres (elle a considéré un chiffre sur deux comme étant masculin); elle ne peut pas non plus être comptée parmi les synesthètes Chiffre-Genre.



(a) Session 1

(b) Session 2

Fig. 7.14: Production de S_{pilote} à l'exercice 3 de l'étude pilote. Cette enfant est

considérée comme synesthète potentielle Lettre-Personnalité au niveau statistique. Mais, comme elle a ordonné ses lettres dans l'ordre alphabétique lors de sa session 2, elle est considérée comme une stratégie et est donc supprimée de la liste finale des synesthètes Lettre-Personnalité.

cette dernière implique d'associer de façon synesthésique à la fois les lettres et les chiffres au concurrent (e.g. à une personnalité; pour un exemple avec le genre, cf. figure 7.13). Dans le cadre de l'expérience définitive, le type de synesthésie Graphème-Personnalité peut se décliner en trois sous-types : Lettre/Chiffre-Genre, Lettre-Genre ou Chiffre-genre (contrairement à l'expérience pilote qui testait aussi en plus Lettre/Chiffre-Personnalité, Lettre-Personnalité et Chiffre-Personnalité).

Dans la synesthésie Forme des nombres

Les productions des enfants concernant l'exercice traitant de la synesthésie Forme des nombres ont toutes été visuellement contrôlées.

Comme la consigne obligeait les enfants à écrire la séquence de nombre sur la feuille, même s'ils ne sont pas synesthètes, les enfants non-synesthètes mettaient en place deux types de stratégie pour effectuer la tâche demandée :

1. Écrire les nombres aléatoirement dans l'espace de la feuille. La séquence de nombres ne formera alors aucune forme particulière et les nombres ne seront pas positionnés de la même manière d'une session de test à l'autre (Figure 7.15).
2. Écrire les nombres en ligne de gauche à droite dans l'ordre de la séquence.

Ordonner la suite numérique en ligne de gauche à droite sur la feuille est le seul arrangement spatial considéré comme une stratégie (Figure 7.16), même si cela a pu être compté comme une organisation synesthésique par d'autres auteurs (Calkins, 1893; Flournoy, 1893; Sagiv *et al.*, 2006). Cette séquence est en effet apprise de cette façon dans les classes, ce qui nous empêche de distinguer des véritables synesthètes, les enfants ordonnant les nombres de cette façon par habitude scolaire. Les enfants qui n'ont pas d'organisation synesthésique de la suite de nombres vont en effet soit placer les nombres dans tout l'espace de la feuille, soit donner une forme arbitraire à cette séquence (dans ce cas ils ne s'en souviendront pas exactement d'une session à l'autre) soit la retranscrire telle qu'ils l'ont apprise (i.e. en ligne de gauche à droite).

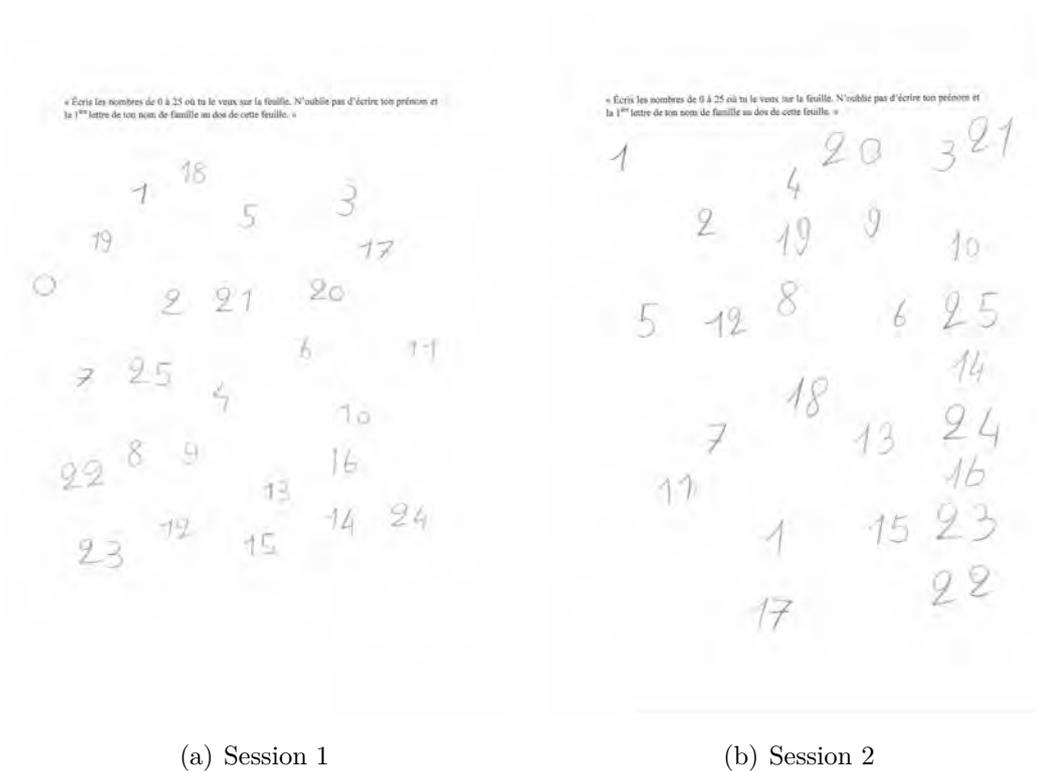


Fig. 7.15: **Organisation spatiale des nombres de L_{281} (CP)** selon la session (a et b). L_{281} a arrangé ses nombres de manière aléatoire dans l'espace de la feuille.

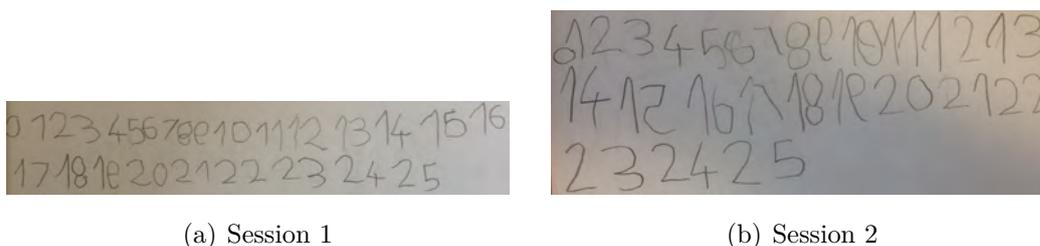


Fig. 7.16: **Organisation spatiale des nombres de F_{73}** (GS) selon la session (a et b). F_{73} a arrangé ses nombres en ligne de gauche à droite, comme c'est enseigné à l'école. Il ne peut donc pas être considéré comme synesthète, même si ses deux sessions sont similaires.

Les enfants ayant répondu positivement à la question « Est-ce que les chiffres sont rangés tout le temps de la même façon dans ta tête ? » sont considérés comme synesthètes potentiels selon le critère phénoménologique.



En résumé

Les synesthètes potentiels au niveau *statistique* sont les enfants dont le nombre d'associations fixes entre les sessions 1 et 2 (Graphème-Couleur ou Graphème-Personnalité/Genre) est supérieur au hasard. Dans le cas de la synesthésie de Forme des nombres, le critère statistique est remplacé par un critère visuel ; sont synesthètes les enfants qui rangent les nombres de la même façon sur la feuille, quelle que soit la session.

Les synesthètes potentiels au niveau *phénoménologique* sont les enfants qui disent associer de manière automatique les graphèmes et les couleurs, les graphèmes et les genres, ou les nombres et des positions dans l'espace.

Les enfants employant des stratégies pour effectuer les exercices ont été exclus du groupe des synesthètes, quel que soit le niveau considéré (statistique/visuel ou phénoménologique). Dans la suite de ce document, le critère employé (i.e. statistique/visuel ou phénoménologique) pour considérer un enfant comme synesthète, sera précisé. Le nombre d'enfants utilisant une stratégie sera lui aussi détaillé.

7.2 Connaissance des lettres et des chiffres

Comme nous l'avons vu précédemment, pour répondre à nos hypothèses concernant les origines et le développement de la synesthésie, il est nécessaire d'examiner

le niveau d'acquisition des lettres et des nombres chez les enfants interrogés dans le cadre de cette thèse. Nous avons donc, dans un premier temps, observé le niveau d'acquisition de tous les enfants en fonction de leur niveau scolaire.

Afin d'étudier le lien entre synesthésie et apprentissage de la lecture et de l'écriture, les lettres et les chiffres (ou les nombres) non acquis ont été répertoriés. Sont considérés comme peu acquis :

- les lettres et les nombres raturés ou gommés puis réécrits (cf. Figures 7.17, et 7.6a page 177, où le Z est barré puis réécrit),



Fig. 7.17: Exemple d'alphabet coloré de la 1^{re} session d'un enfant de CP (L_{376}).

La lettre Z est répertoriée comme étant potentiellement ignorée pour cet enfant car elle a d'abord été écrite à l'envers puis gommée et réécrite correctement.

- les lettres et les nombres dont le sens d'écriture est inversé par rapport au sens de lecture (cf. Figure 7.18),

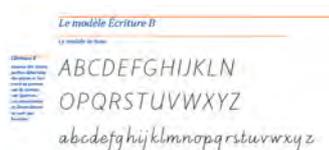


Fig. 7.18: **Exemple d'alphabet coloré de la 1^{re} session de R_{675} (CE1).** La lettre *S* est répertoriée comme étant ignorée car cette lettre est dans le sens inverse.

- Les lettres dont la graphie ne correspond pas aux modèles d'écriture fournis par l'éducation nationale (cf. Figure 7.19),



(a) Modèle d'écriture A



(b) Modèle d'écriture B



(c) Exemple d'alphabet produit par J_{582} , CE1

Fig. 7.19: (a et b) **Modèles indiqués par le ministère de l'éducation nationale.** (c) **Exemple d'alphabet coloré de la 1^{re} session de J_{582} (CE1).** La lettre *N* est répertoriée comme étant ignorée car la barre centrale devrait descendre plus bas conformément aux modèles A et B transmis par l'éducation nationale.

Si un caractère alphanumérique est considéré comme peu acquis dans les deux sessions d'un même exercice, alors il sera traité comme non acquis dans l'analyse. A l'inverse, si le caractère alphanumérique n'est repéré que dans l'une des deux sessions d'un même exercice ou dans aucune d'entre elles, alors il sera considéré comme acquis.

Méthode de l'étude des non synesthètes

8.1 Participants

8.1.1 Enfants

Sur les 705 enfants retenus ayant effectué les deux sessions de l'exercice 1 (i.e. traitant des synesthésies Caractère-Couleur), 504 enfants ont pris part à l'étude des mécanismes sous-jacents des associations cross-modales. Parmi eux, 239 étaient en grande section de maternelle (GS), 161 en cours préparatoire (CP) et 104 en première année de cours élémentaire (CE1). Les enfants potentiellement synesthètes au niveau statistique ou phénoménologique ont été écartés de cette analyse, même si tous n'étaient pas retenus comme synesthètes par la suite, pour être sûr que toutes les productions analysées soient bien des associations cross-modales, et non des associations synesthésiques.

8.1.2 Adultes

301 adultes de langue maternelle française ont pris part à l'expérience (143 femmes, 158 hommes; 34 gauchers, 257 droitiers; âge moyen = 23,25 ans, écart type (σ) = 4,38 ans). Le recrutement s'est effectué sur différents sites universitaires de Toulouse, dans trois laboratoires de recherche et lors d'un événement public (Mondial de Roller Hockey, Toulouse juin 2014). La constance de leurs associations a été contrôlée pour s'assurer qu'aucun d'entre eux n'était synesthète. Trente participants (i.e. 14 femmes et 16 hommes) ont été exclus de l'analyse finale du fait d'un taux d'associations similaires entre le test et le retest supérieur à la moyenne du groupe de 2σ (i.e. 22 graphèmes sur 36, 17 lettres sur 26 et 7

chiffres sur 10). Quatre hommes ont été exclus car ils ne distinguaient pas toutes les couleurs utilisées (du fait d'un daltonisme). En résumé, 267 participants (129 femmes, 138 hommes ; 28 gauchers, 233 droitiers) ont été finalement inclus dans les analyses.

Pour l'étude des associations entre les caractères alphanumériques et les couleurs chez les non-synesthètes, les analyses sont concentrées exclusivement sur les résultats des premières sessions des procédures expérimentales effectuées par ces enfants et ces adultes non synesthètes, la deuxième session permettant principalement de déceler les synesthètes.

8.2 Procédure de l'expérience contrôle effectuée chez l'adulte

L'expérimentation durait entre cinq et dix minutes. Après avoir pris connaissance des consignes, de leurs droits d'anonymat et de réserve, les participants devaient associer chaque graphème à une couleur sur l'écran d'une tablette¹ (cf. Figure 8.1). Pour être au plus près de l'expérience effectuée avec les enfants, les couleurs et les graphèmes présentés étaient les mêmes (i.e. toutes les lettres de A à Z et tous les chiffres de 0 à 9 et les douze couleurs). Dans cette première partie de l'expérience, tous les graphèmes étaient présentés une fois. Le participant avait le choix de l'ordre de réalisation des associations et recevait un récapitulatif des associations effectuées avant chaque essai (cf. Figure 8.2). Les douze couleurs étaient affichées sous le graphème choisi et organisées de manière aléatoire d'un essai à l'autre. Une fois que l'ensemble des trente-six graphèmes a été coloré, le participant se voyait offrir une pause, puis la deuxième partie de l'expérience commençait. Les participants adultes, comme les enfants, ne savaient pas, avant cette pause, qu'ils allaient devoir associer une deuxième fois chaque graphème à une couleur. La deuxième partie de l'expérience servant seulement à déterminer si l'individu interrogé est synesthète Graphème-Couleur de manière objective, elle n'était pas calquée sur les sessions effectuées par les enfants. Chaque graphème était présenté

1. les deux tablettes utilisées étaient de marque ASUS de modèle Memo Pad 10. Le logiciel OpenSesame (version 2.8.0) a permis de coder l'expérience (Mathôt *et al.*, 2012).

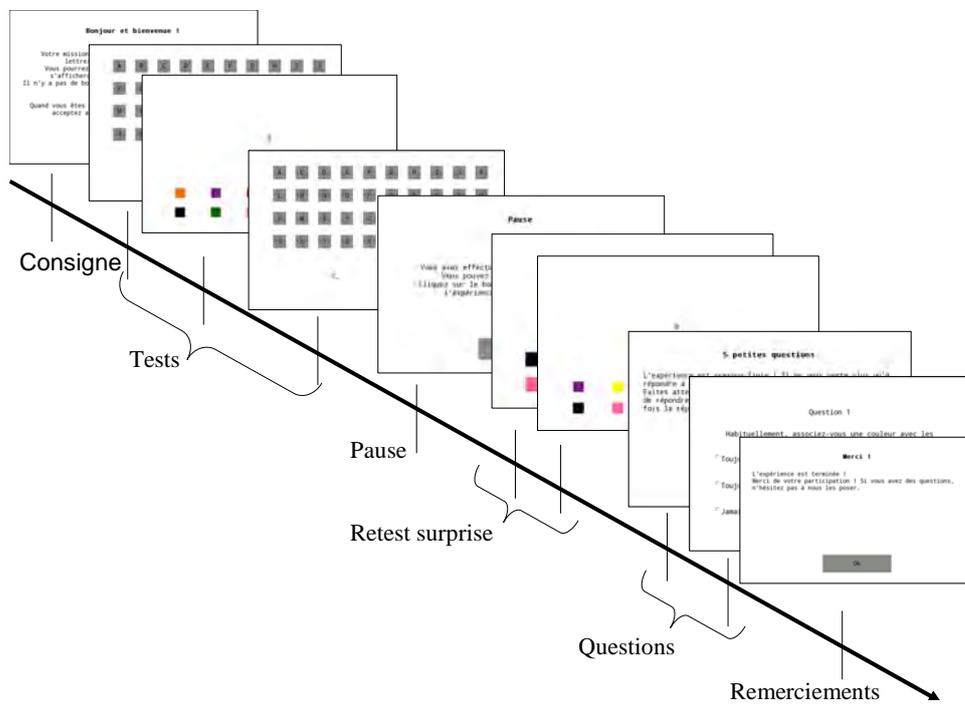


Fig. 8.1: Schéma de la procédure expérimentale effectuée par les participants adultes.

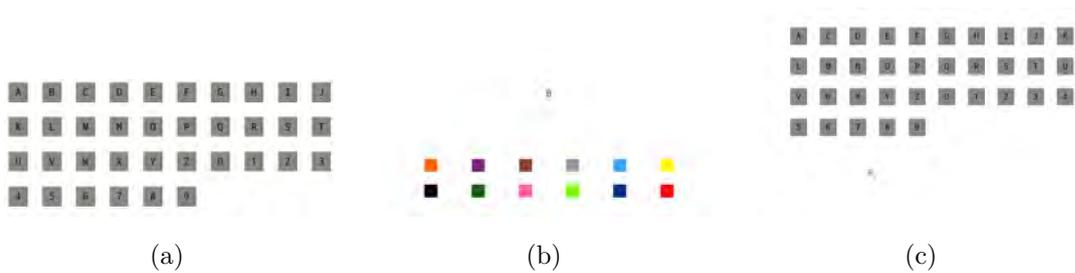


Fig. 8.2: Exemple de trois premiers affichages d'une session de test. (a et c) Phase de choix du graphème à associer. (b) Phase de choix de la couleur à associer au graphème précédemment choisi.



Fig. 8.3: **Deux premiers essais de la phase du retest surprise.** Les graphèmes sont présentés dans un ordre aléatoire forcé.

un à un dans un ordre aléatoire avec les douze couleurs rangées aléatoirement en bas de l'écran (cf. Figure 8.3). Le participant avait pour consigne d'associer à une couleur la lettre ou le chiffre présent à l'écran. Il lui était précisé qu'il n'existe pas de bonne ou de mauvaise réponse, que l'association dépend de son imagination. Au cours de l'ensemble de cette procédure, chaque graphème a donc été présenté deux fois à chaque adulte. Un mini-questionnaire composé de cinq questions interrogeait, à la fin de l'expérience :

- la fréquence d'associations synesthésiques graphème-couleur (« Associez-vous une couleur avec les lettres de l'alphabet ? Associez-vous une couleur avec des chiffres ? »),
- l'utilisation d'aimants en forme de lettres colorées dans l'enfance (« Associez-vous une couleur ? Dans votre enfance, aviez-vous des magnets représentant des lettres colorées ? Avez-vous utilisé les mêmes associations lettre-couleur pour répondre à l'expérience ? »),
- et enfin la fréquence d'attribution d'une personnalité aux lettres ou aux chiffres (« Associez-vous des personnalités avec des lettres ? Associez-vous des personnalités avec des chiffres ? »).

Troisième partie

RÉSULTATS

Prévalence de la synesthésie chez l'enfant

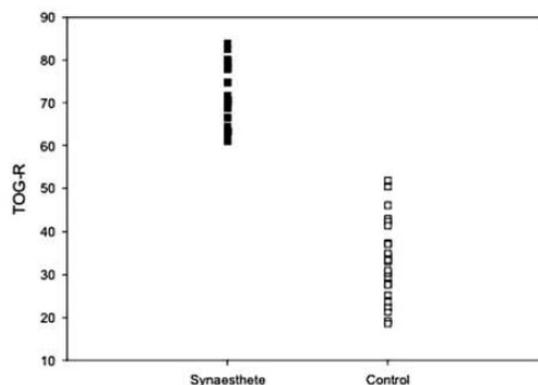
9.1 Synesthésie Graphème-Couleur

Dans les études portant sur l'adulte, deux critères permettent de distinguer les individus synesthètes : la constance et la conscience des associations (cf. 1.1.3, page 24). Nous avons donc interrogé la prévalence de la synesthésie chez l'enfant à partir de ces deux critères.

9.1.1 La constance des associations Graphème-Couleur

Distribution du niveau de constance de l'ensemble de l'échantillon interrogé comparée à ce qui est observé habituellement chez l'adulte

Chez l'adulte, on observe une véritable démarcation du taux de constance des associations entre les individus synesthètes et ceux qui ne le sont pas, comme le montrent par exemple Asher et ses collaborateurs (2006) dans une étude revisitant le test classique de constance des associations (Figure 9.1). La distribution des scores de constance des choix de couleurs (pour les lettres et les chiffres) des 705 enfants que nous avons testés ne présente pas ce caractère bimodal (Figure 9.2). Elle ne permet pas de décider de façon claire et précise d'un nombre minimum d'associations identiques pour qu'un enfant soit considéré comme synesthète. Cela pourrait signifier l'absence de synesthètes dans ce groupe. Cependant, Simner et collègues (2006; 2009a) avaient également observé que les enfants qu'ils avaient testés n'avaient des associations fixes que pour un nombre limité de lettres et de chiffres. Ces associations étaient stables sur plusieurs années, suggérant qu'il s'agissait bien de synesthésie, selon la définition de constance. Nous avons donc



*Fig. 9.1: Constance des associations de synesthètes issus d’une base de données, (témoignages spontanés de synesthésie Son-Couleur) et de non-synesthètes (contrôles) (tiré de Asher *et al.*, 2006). Le score « Test Of Genuineness - Revised » correspond au pourcentage de sons (mots et non-mots) pour lesquels les individus avaient choisi la même couleur dans deux tests espacés d’au moins un mois, sur des échantillons standardisés de couleur (Pantone). Les scores ne se chevauchent pas (distribution bimodale), ce qui permet de décider d’un score minimum (60%) pour qu’un individu soit considéré comme synesthète. Des résultats similaires sont obtenus pour la synesthésie Graphème-Couleur (e.g., figure 1d de Eagleman *et al.*, 2007).*

considéré un critère plus libéral, en se basant sur le nombre de choix similaires d’associations entre graphèmes et couleurs qu’un enfant pouvait obtenir dans les deux sessions, uniquement par chance. Nous rappelons que l’expression Graphème-Couleur est employée dans cette thèse pour parler de cette synesthésie dans le sens large du terme, c’est-à-dire comprenant les individus associant aux couleurs soit des lettres, soit des chiffres, soit les deux (cf. 7.1.1, page 7.1.1). Nous employons ici les termes de synesthésies Lettre-Couleur, Chiffre-Couleur et Lettre/Chiffre-Couleur pour parler plus spécifiquement de ces trois sous-types de synesthésie Graphème-Couleur. Nous avons décidé d’un critère arbitraire de « chance » (cf. 7.1.1, page 165 et encadré page 198) pour chaque enfant. Nous avons également caractérisé séparément les enfants qui pouvaient avoir obtenu un score élevé en se basant sur une stratégie identifiée (cf. 7.1.3, page 172). Les résultats (Figure 9.2) montrent que les enfants ainsi identifiés comme synesthètes potentiels ont bien un score de constance plus élevé que les autres (ce qui est attendu puisque cela correspond à notre critère). Le niveau de constance de certains enfants considérés

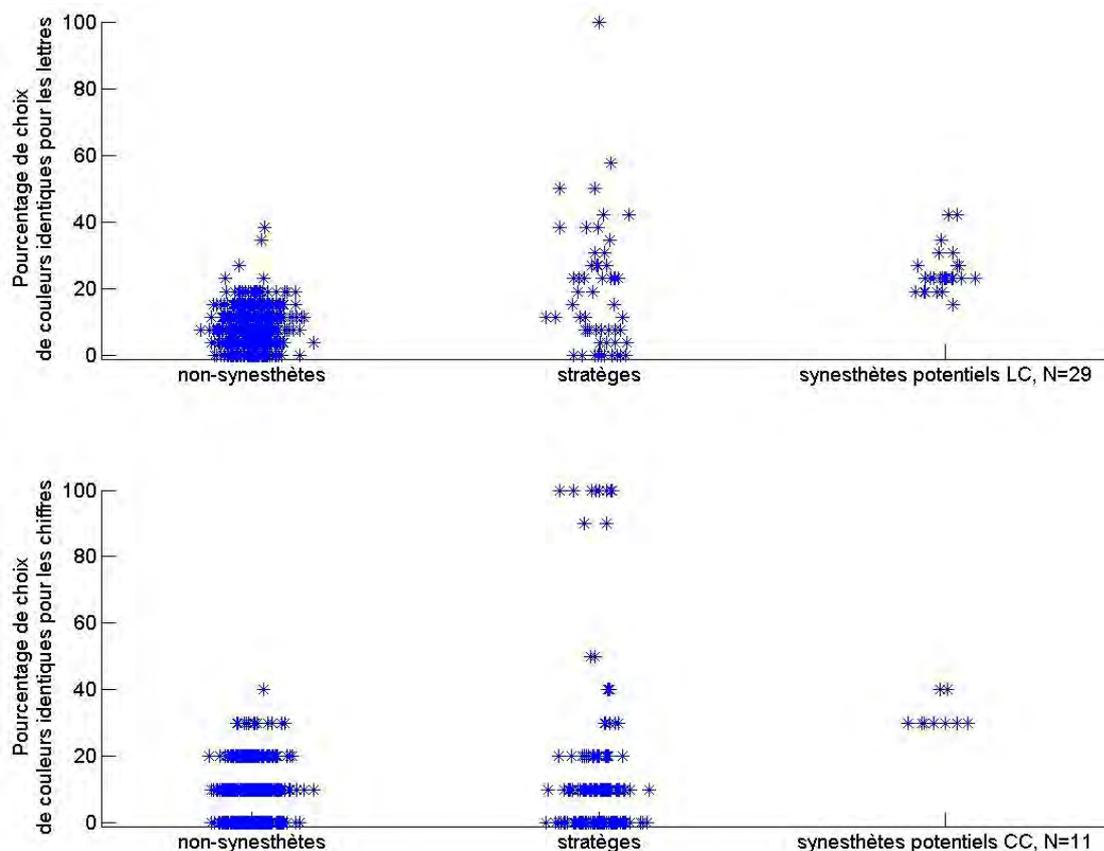


Fig. 9.2: Pourcentage de constance graphème-couleur de tous les enfants interrogés dans cette thèse selon l'inducteur analysé (i.e. lettre ou chiffre) et selon le groupe (i.e. non-synesthètes, stratèges, ou synesthètes potentiels). Le pourcentage est calculé ici à partir du nombre maximal d'inducteurs possibles (e.g. si un enfant n'a écrit que 15 des 26 lettres, le pourcentage d'associations fixes sera tout de même calculé sur 26). N représente le nombre d'enfants synesthètes potentiels. LC et CC sont employés pour Lettre-Couleur et Chiffre-Couleur. Chaque point représente un enfant ; la valeur exacte de l'abscisse dans chaque groupe n'a pas de signification : elle est aléatoire pour permettre la visualisation.

comme synesthètes potentiels chevauche cependant celui d'autres enfants, même en séparant les enfants ayant utilisé une stratégie reconnue. Surtout, il y a continuité entre les scores des deux groupes identifiés de cette façon, rendant le critère statistique arbitraire : la différence entre synesthètes potentiels Graphème-Couleur et non-synesthètes n'est pas aussi tranchée que chez l'adulte, et ce, quel que soit l'inducteur étudié (i.e. les lettres ou les chiffres). Ce constat réplique les résultats des deux seules recherches présentes dans la littérature scientifique actuelle et s'intéressant à la prévalence de la synesthésie Graphème-Couleur chez l'enfant (Simner, 2006; Simner *et al.*, 2009a).

Nombre de synesthètes potentiels Graphème-Couleur d'après notre critère de sélection

Rappel : le critère statistique de sélection des enfants considérés comme synesthètes Graphème-Couleur

Les synesthètes potentiels au niveau statistique sont les enfants dont le nombre d'associations fixes entre les sessions 1 et 2 est supérieur au hasard. Le seuil correspondant au hasard est calculé pour chaque participant indépendamment, en créant 50000 tirages aléatoires de sa session 1 (S1), basés sur le même nombre de couleurs et d'inducteurs que dans sa véritable S1, et en comparant ces tirages aux 50000 tirages aléatoires effectués exactement de la même manière pour sa seconde session (S2). Si le nombre d'associations similaires entre les vraies S1 et S2 est supérieur à celui obtenu pour 95% de la distribution aléatoire, l'enfant est considéré comme un synesthète potentiel. Cette analyse a pu être menée en séparant les différents inducteurs possibles ; chaque réponse a donc été analysée trois fois : une fois pour toutes les lettres de l'alphabet (i.e., le niveau de constance maximum est 26/26), une fois pour tous les chiffres (le niveau de constance maximum est 10/10) et une fois pour l'ensemble des graphèmes (le niveau de constance maximum est 36/36). Sont ensuite exclus de chacun de ces sous-groupes tous les enfants effectuant une stratégie d'associations (e.g. utilisation majoritaire d'une couleur particulière ou d'une séquence de couleurs).

En considérant qu'un enfant était potentiellement synesthète s'il atteignait le critère statistique pour les lettres, les chiffres ou les deux (cf. 7.1.1, page 165 et encadré page 198), et après avoir exclu les enfants utilisant des stratégies d'associations (21 enfants stratégies repérés parmi les enfants ressortis statistiquement

comme synesthètes potentiels Graphème-Couleur, quel que soit l'inducteur ; cf. 7.1.1, page 165), on aboutit au nombre de 40 enfants (sur 705) considérés comme synesthètes potentiels : sept enfants de Grande Section de Maternelle (GS ; Nombre d'enfants total, $N_{GS} = 251$; âge moyen = 5 ans), dix-huit de Cours Préparatoire (CP ; $N_{CP} = 262$; âge moyen = 6 ans), et quinze de 1^{re} année de Cours Élémentaire (CE1 ; $N_{CE1} = 192$; âge moyen = 7 ans).

Ce nombre change selon l'inducteur analysé ; cinq enfants de 5 ans associent les lettres et les couleurs (cf. les enfants dont la cellule de la colonne *LC* est grisée dans la première partie du Tableau 9.1, et les lignes correspondantes de la Figure 9.3), ainsi que treize de 6 ans (cf. les enfants dont la cellule de la colonne *LC* est grisée dans la deuxième partie du Tableau 9.1, et les lignes correspondantes de la Figure 9.3) et onze de 7 ans (cf. les enfants dont la cellule de la colonne *LC* est grisée dans la troisième et dernière partie du Tableau 9.1, et les lignes correspondantes de la Figure 9.3), alors que seulement un enfant de 5 ans est considéré comme synesthète potentiel Chiffre-Couleur, quatre enfants de 6 ans et six enfants de 7 ans (cf. enfants dont la cellule de type *CC* du tableau 9.1 est grisée). Pour la synesthésie Lettre-Couleur, les synesthètes potentiels ont au moins 15,4% d'associations constantes (i.e. au moins quatre des 26 lettres de la même couleur entre deux sessions ; cf. colonne *LC* du Tableau 9.1) et au maximum 42,3% (i.e. au plus onze des 26 lettres similaires). Les synesthètes potentiels Chiffre-Couleur ont quant à eux entre 30 et 40% d'associations constantes (i.e. au moins trois des 10 chiffres similaires et au plus quatre des 10 chiffres ; cf. colonne *CC* du Tableau 9.1). Le critère de sélection mis en place dans cette thèse permet aussi de calculer le nombre d'enfants qui peuvent être considérés comme synesthètes potentiels en analysant en même temps le niveau de constance des couleurs associées aux 26 lettres de l'alphabet et aux dix chiffres, soit le niveau de constance des 36 graphèmes testés (cette dernière analyse n'a pas été effectuée par Simner et ses collègues, 2009a, 2013). Trois enfants de 5 ans, neuf de 6 ans et six de 7 ans sont alors considérés comme synesthètes potentiels. Parmi ces dix-huit enfants, seulement un de 5 ans et un de 6 ans ne font pas partie du groupe des synesthètes potentiels Lettre-Couleur (ni du groupe Chiffre-Couleur).

Pour résumer, en se fondant sur notre critère de sélection basé sur la constance des associations, nous aurions donc 40 des 705 enfants inclus dans l'analyse qui

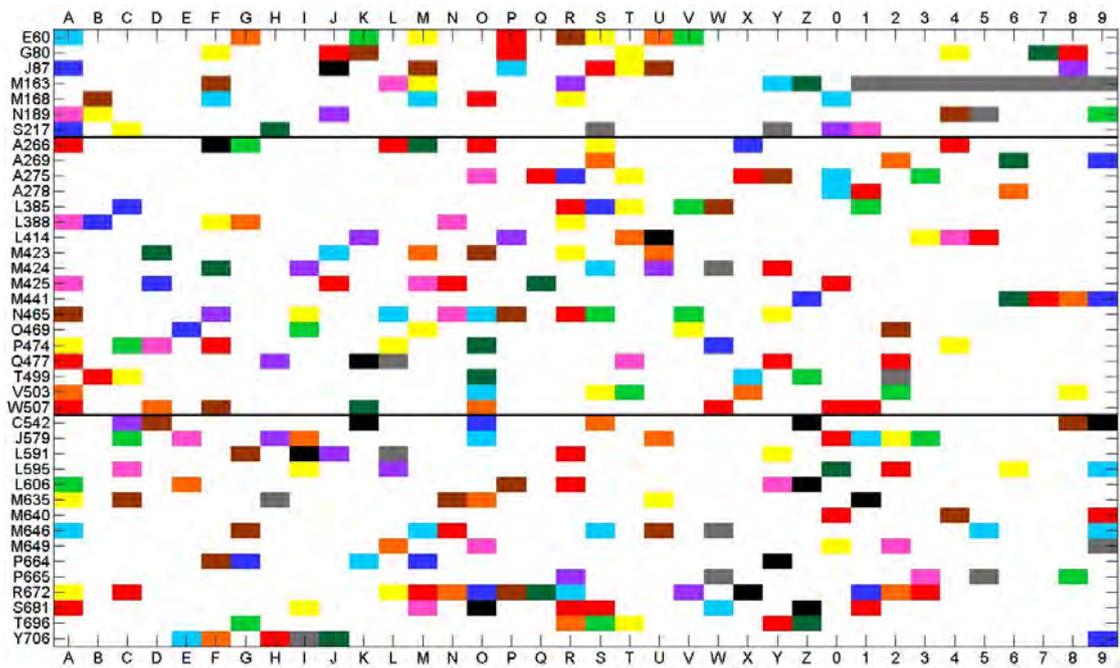


Fig. 9.3: Associations constantes entre les caractères alphanumériques et les couleurs des enfants synesthètes potentiels Graphème-Couleur d'après notre critère de sélection. Les lignes noires horizontales séparent les enfants de GS (5 ans), des CP (6 ans) et des CE1 (7 ans).

Tab. 9.1: Associations constantes des enfants synesthètes potentiels Graphème-Couleur d'après notre critère de sélection. La colonne *LC* donne le nombre d'associations similaires entre les lettres et les couleurs. La colonne *CC* donne le nombre d'associations similaires entre les chiffres et les couleurs. La colonne *L/C-C* donne le nombre d'associations similaires entre à la fois les lettres et les chiffres, et les couleurs. Le gris souligne le niveau de constance de chaque enfant dans la synesthésie dans laquelle il est considéré par l'analyse statistique comme synesthète potentiel.

Enfants	Niveaux scolaires	LC	CC	L/C-C
<i>E</i> ₆₀	GS	9	0	9
<i>G</i> ₈₀	GS	5	3	8
<i>J</i> ₈₇	GS	7	1	8
<i>M</i> ₁₆₃	GS	6	9	15
<i>M</i> ₁₆₈	GS	5	1	6
<i>N</i> ₁₈₉	GS	3	3	6
<i>S</i> ₂₁₇	GS	5	2	7
<i>A</i> ₂₆₆	CP	8	1	9
<i>A</i> ₂₆₉	CP	1	3	4
<i>A</i> ₂₇₅	CP	6	2	8
<i>A</i> ₂₇₈	CP	0	3	3
<i>L</i> ₃₈₅	CP	6	1	7
<i>L</i> ₃₈₈	CP	6	0	6
<i>L</i> ₄₁₄	CP	4	3	7
<i>M</i> ₄₂₃	CP	6	0	6
<i>M</i> ₄₂₄	CP	6	0	6
<i>M</i> ₄₂₅	CP	6	1	7
<i>M</i> ₄₄₁	CP	1	4	5
<i>N</i> ₄₆₅	CP	11	0	11
<i>O</i> ₄₆₉	CP	4	1	5
<i>P</i> ₄₇₄	CP	7	1	8
<i>Q</i> ₄₇₇	CP	6	1	7
<i>T</i> ₄₉₉	CP	5	1	6
<i>V</i> ₅₀₃	CP	5	2	7
<i>W</i> ₅₀₇	CP	6	2	8
<i>C</i> ₅₄₂	CE1	6	2	8
<i>J</i> ₅₇₉	CE1	6	4	10
<i>L</i> ₅₉₁	CE1	6	0	6
<i>L</i> ₅₉₅	CE1	3	4	7
<i>L</i> ₆₀₆	CE1	6	0	6
<i>M</i> ₆₃₅	CE1	6	1	7
<i>M</i> ₆₄₀	CE1	0	3	3
<i>M</i> ₆₄₆	CE1	7	2	9
<i>M</i> ₆₄₉	CE1	2	3	5
<i>P</i> ₆₆₄	CE1	5	0	5
<i>P</i> ₆₆₅	CE1	2	3	5
<i>R</i> ₆₇₂	CE1	11	3	14
<i>S</i> ₆₈₁	CE1	8	1	9
<i>T</i> ₆₉₆	CE1	6	0	6
<i>Y</i> ₇₀₆	CE1	5	1	6

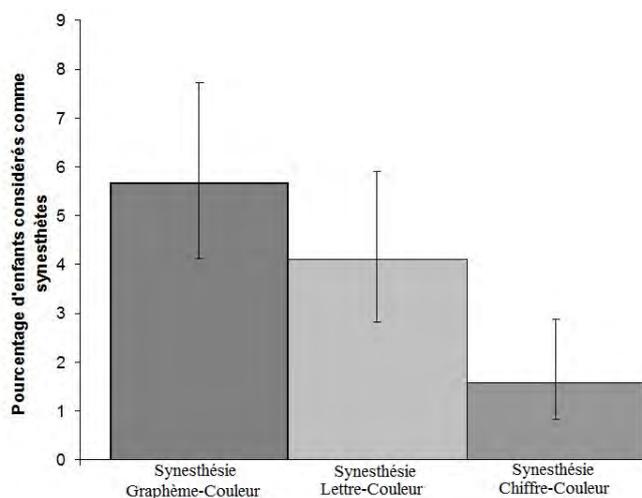


Fig. 9.4: Nombre d'enfants considérés comme synesthètes potentiels selon le critère de constance mis en place dans cette thèse et le type d'inducteur analysé. Les barres d'erreur correspondent à l'intervalle de confiance à 95% de la proportion. La proportion de synesthètes potentiels Graphème-Couleur correspond au nombre d'enfants associant soit des lettres, soit des chiffres, soit les deux à des couleurs, la proportion de Lettre-Couleur en se basant sur la constance de l'ensemble des lettres présentes dans ces productions (soit une constance maximum de 26), et la proportion de Chiffre-Couleur en se basant sur la constance de l'ensemble des chiffres présents (soit une constance maximum de 10).

pourraient être des synesthètes potentiels, soit 5,7% (I.C. à 95% = [4,1 ; 7,7]%; Figure 9.4 synesthésie GC). Parmi ces 40 enfants synesthètes potentiels Graphème-Couleur, 29 ont été considérés comme tels en interrogeant leurs associations entre les lettres et les couleurs (i.e. l'analyse a été effectuée sur 26 inducteurs au maximum ; soit 4,1%, I.C. à 95% = [2,8 ; 5,9]%; cf. Figure 9.4 synesthésie LC), onze en interrogeant les associations entre chiffres et couleurs (i.e. l'analyse a été effectuée sur 10 inducteurs au maximum soit 1,6%, I.C. à 95% = [0,8 ; 2,9]%; cf. Figure 9.4 synesthésie CC) et dix-huit en analysant l'ensemble des inducteurs (i.e. l'analyse a été effectuée sur 36 graphèmes au maximum : 26 lettres et 10 chiffres, soit 2,5%, I.C. à 95% = [1,6 ; 4,1]%).

Le critère conçu dans cette thèse n'est pas exactement identique à celui utilisé conventionnellement. Il est alors important de vérifier notre méthode pour s'assu-

rer de sa validité. Concernant la prévalence générale de la synesthésie Graphème-Couleur chez l'enfant, notre étude s'inscrit plus particulièrement dans la lignée de celle de Simner et collaborateurs (2009a), du fait de la tranche d'âge interrogée et de la méthode employée (i.e. étude systématique de tous les enfants de différentes classes de primaire). Cette recherche fait référence dans la littérature scientifique concernant la synesthésie chez l'enfant. Or, cette étude note, elle aussi, l'impossibilité d'appliquer exactement les mêmes méthodes d'investigation sur la population infantine que celles entérinées pour une population adulte. Il est donc intéressant de pouvoir valider les critères de sélection de cette thèse en les comparant à ceux mis en place dans l'étude de référence (i.e. Simner *et al.*, 2009a et simplifiés dans Simner et Bain (2013)).

Validation du critère de constance : comparaison de notre critère avec celui de Simner et Bain (2013)

Selon Simner et Bain (2013), le critère retenu pour considérer un enfant comme synesthète est, comme chez l'adulte, la constance de ses associations. Dans leur étude, pour être considéré comme synesthète, un enfant doit surpasser le nombre moyen d'associations de l'échantillon de sa tranche d'âge d'au moins 1,96 déviations standards, pour les lettres d'un côté, et pour les chiffres de l'autre. D'après la moyenne du nombre d'associations constantes de chaque groupe d'âge interrogé, un enfant de 6 ans doit avoir au moins six lettres constantes sur les 26 lettres de l'alphabet ou au moins trois chiffres sur dix (i.e. les chiffres de 0 à 9). Un enfant de 7 ans doit avoir au moins huit des 26 lettres de l'alphabet ou au moins quatre chiffres sur dix de constants entre deux sessions pour être inclus dans le groupe des synesthètes potentiels. En appliquant ces critères à l'échantillon de cette thèse, et en excluant les enfants ayant utilisé une stratégie d'associations, onze enfants de 6 ans sont estimés être synesthètes potentiels Lettre-Couleur et cinq enfants Chiffre-Couleur. Le nombre d'enfants de notre étude correspondant aux critères définis par Simner et Bain (2013) à 7 ans passe à deux enfants synesthètes potentiels Lettre-Couleur et deux enfants synesthètes potentiels Chiffre-Couleur. Parmi ces enfants, et quel que soit leur âge, aucun n'est à la fois synesthète potentiel Lettre-Couleur et Chiffre-Couleur.

Concernant les enfants de GS, âgés en moyenne de 5 ans, Simner et collaborateurs (2013; 2009a) n'ayant pas interrogé d'enfants aussi jeunes, ce sont les critères de sélection des enfants de 6 ans (tranche d'âge juste au-dessus de celle des enfants de GS) qui sont ici utilisés pour avoir une idée du nombre de synesthètes potentiels, même si cette référence est très certainement au-dessus du critère de cette tranche d'âge, au vu de l'évolution que Simner et ses collaborateurs (2013; 2009a) ont pu observer entre 6 et 7 ans. En GS, trois enfants associaient au moins six lettres de l'alphabet à une couleur de façon constante d'une session à l'autre, et trois associaient au moins trois chiffres.

En résumé, à partir des critères mis en place par Simner et Bain (2013), 26 enfants sont synesthètes potentiels Graphème-Couleur, dont six enfants de GS, seize enfants de CP et quatre enfants de CE1.

Le Tableau 9.2 résume le nombre d'enfants susceptibles d'être considérés comme synesthètes potentiels parmi les 705 enfants inclus dans notre étude de la synesthésie Graphème-Couleur, en fonction du critère de constance retenu pour considérer un individu comme tel et selon leur niveau scolaire.

Tab. 9.2: Nombre de synesthètes Lettre-Couleur (LC), Chiffre-Couleur (CC), et Lettre/Chiffre-Couleur (L/CC), de notre étude en fonction de l'âge des enfants, et selon les critères définis dans cette thèse ou définis par Simner et collaborateurs (2013; 2009a). Ici, les enfants ayant utilisé des stratégies pour répondre ont déjà été exclus. La colonne *Total* résume le nombre de synesthètes de chaque tranche d'âge, quel que soit le type d'inducteur (i.e. lettres ou chiffres).

Age moyen	Étude déterminant les critères	Critères	LC (/26)	CC (/10)	L/CC (/36)	Total (ou)
5 ans (GS)			5	1	3	7
6 ans (CP)	Critères définis dans cette thèse	Nb d'associations constantes > à la chance	13	4	9	18
7 ans (CE1)			11	6	6	15
5 ans (GS)				3	1+2 ²	X
6 ans (CP)	Critères de Simner <i>et al.</i> , 2009a, résumés dans Simner et Bain, 2013	6/26 et 3/10 ¹	11	4+1	X	16
7 ans (CE1)		8/26 et 4/10	2	2	X	4

1. Simner et collaborateurs (2009a) n'ayant pas étudié cette tranche d'âge (i.e. 5 ans), nous avons utilisé les seuils définis pour la tranche d'âge supérieure (i.e. pour les enfants de 6 ans).

2. Le "+N" correspond au nombre d'enfants qui sont considérés comme synesthètes potentiels selon les critères de Simner et collaborateurs (2013; 2009a), mais qui ne le sont pas d'après notre critère, pour un inducteur particulier. Par exemple, d'après les critères de Simner, trois enfants

De manière générale, le nombre d'enfants considérés comme synesthètes potentiels Graphème-Couleur varie peu d'un critère à l'autre en ce qui concerne les enfants de 5 et 6 ans : en utilisant les critères de Simner et Bain (2013), il y a seulement un synesthète potentiel de moins parmi les enfants de GS et deux de moins parmi ceux de CP. Lorsqu'on regarde plus en détail la spécificité de ces enfants, on remarque que les deux élèves de CP, synesthètes potentiels Lettre-Couleur d'après notre critère, et dont le niveau de constance n'atteint pas le seuil fixé par Simner et Bain (2013), avaient oublié de reproduire certaines lettres dans une de leur session : O_{469} n'a que quinze lettres dans sa première session et T_{499} a oublié cinq lettres dans sa deuxième session. Les deux enfants de GS (i.e. S_{217} et M_{168}) qui ne sont pas considérés comme synesthètes potentiels Lettre-Couleur, d'après le seuil défini par l'étude de référence ont eux aussi oublié une lettre dans leur deuxième session. Notre critère paraît de ce fait plus approprié à notre procédure puisqu'il tient compte, dans le calcul du seuil de constance de chaque enfant, du nombre de lettres et de chiffres qu'il a retranscrits.

Notre critère paraît, au premier abord, beaucoup plus laxiste que le critère de l'étude de référence pour les enfants de 7 ans : seulement quatre des quinze enfants retenus avec notre critère sont considérés comme synesthètes potentiels d'après la méthode de sélection de Simner et Bain (2013). Mais cette disproportion peut s'expliquer par la différence de procédure. Les enfants interrogés dans l'étude de Simner et collègues devaient effectuer leur deuxième session de test presque immédiatement après la première, permettant ainsi à certains enfants de se souvenir d'un certain nombre de leurs choix précédents (dans la limite de leur capacité mnésique, plus ou moins importante selon leur tranche d'âge). Quelques enfants ont alors pu être tentés de reproduire leurs choix précédents, augmentant le nombre d'associations similaires possibles entre les deux sessions. Au contraire, dans notre étude, au moins quinze jours séparaient les deux sessions, rendant le rappel des associations beaucoup plus difficile, et ce d'autant plus que les enfants n'avaient pas connaissance du second test, et n'ont donc pas fait d'effort de mémorisation lors de la première session.

En ce qui concerne plus spécifiquement l'association synesthésique entre chiffres et couleurs, le seuil défini par Simner et Bain semble admettre plus de synesthètes

de GS sont synesthètes Chiffre-Couleur, dont deux qui ne le sont pas d'après notre critère.

potentiels que le nôtre pour les deux premiers niveaux scolaires interrogés : deux enfants de GS et un enfant de CP associent au moins trois chiffres à une même couleur dans leurs différentes sessions, sans pour autant être considérés comme synesthètes potentiels Chiffre-Couleur d'après le critère décrit dans cette thèse. Parmi ces enfants de GS, G_{80} est considéré comme synesthète potentiel d'après notre critère, mais seulement lorsque l'analyse est effectuée sur l'ensemble des inducteurs possibles (i.e. lorsqu'on cumule lettres et chiffres). Le second enfant de GS, M_{175} est très proche du niveau de chance (0,057 alors que le seuil est en dessous de 0,05). L_{406} , l'élève de CP considéré comme synesthète potentiel d'après le critère de Simner et Bain pourrait ne pas être jugé comme tel d'après le nôtre, du fait du nombre de couleurs utilisées.

En résumé, le critère conçu dans cette thèse semble conduire à des résultats très proches de ceux obtenus en utilisant le critère de Simner et Bain. Notre critère est cependant plus approprié pour identifier les enfants potentiellement synesthètes, dans notre étude, car :

- il permet une véritable comparaison entre les trois tranches d'âge interrogées en utilisant le même critère ; Simner et collègues n'avaient pas défini de seuil pour le niveau de constance des associations d'enfants de moins de 6 ans. De plus, chez Simner *et al.*, le critère dépend de l'échantillon testé, notamment de sa taille.
- le nombre de lettres ou de chiffres non retranscrits est pris en compte dans le calcul du seuil pour chaque enfant. Ce point est important, car la procédure utilisée dans le cadre de cette thèse inclut l'oubli possible de certaines lettres ou de certains chiffres dans une des sessions (à la différence d'un test informatisé).
- en prenant en compte le nombre de couleurs utilisées dans chacune des sessions de l'enfant, il permet d'exclure systématiquement les enfants ayant un niveau de constance élevé du fait de l'utilisation d'un nombre restreint de couleurs. Cette exclusion a dû être faite dans un second temps et de manière plus qualitative, dans l'étude de Simner et Bain (2013).

Le critère de constance semble cependant insuffisant pour déterminer à lui seul de manière certaine le caractère synesthésique des associations analysées, puisqu'il existe ici une continuité entre les scores de constance de certains enfants considé-

rés comme potentiels synesthètes d'après ce critère et des enfants non-synesthètes, contrairement aux scores adultes décrits dans la littérature scientifique où on observe une démarcation nette entre synesthètes et non-synesthètes.

9.1.2 Le critère phénoménologique chez l'enfant et chez l'adulte, comme vérification du critère de constance

Un autre critère utilisé pour considérer un individu comme synesthète dans une population d'adultes est le critère phénoménologique, basé sur l'idée que la synesthésie est une condition consciente. Simner et ses collaborateurs (2013; 2009a) n'ont pas utilisé ce critère comme un pré-requis pour qu'un enfant soit considéré comme synesthète, mais ils remarquent que les enfants considérés comme synesthètes à partir du niveau de constance de leurs associations semblent avoir des scores plus élevés que les autres enfants en ce qui concerne l'automatisme, la constance et la certitude de leurs associations. Si on considère alors les enfants synesthètes potentiels Graphème-Couleur à la fois au niveau statistique (i.e. constance des associations supérieur à 95% de ce qui est attendu par hasard) et au niveau phénoménologique (i.e. la réponse aux questions), le taux de prévalence baisse considérablement : 1,04% des participants ayant répondu aux questions se révèlent être synesthètes potentiels pour les deux critères à la fois (I.C. à 95% = [0,4 ; 2,4]%). Cette remarque est particulièrement valable lorsque l'analyse de la constance est faite en considérant l'ensemble des inducteurs possibles (i.e. les 26 lettres et les 10 chiffres) et en considérant seulement les chiffres, puisque pour ces deux catégories le taux de synesthètes potentiels selon les deux critères est de 0,3% (I.C. à 95% = [0,05 ; 1,1]%). Lorsqu'on analyse seulement la constance des lettres, ce taux est de 0,9% (I.C. à 95% = [0,3 ; 1,8]%).

D'après les résultats de Simner et collaborateurs (2013; 2009a), nous nous attendions à ce que les enfants considérés comme synesthètes potentiels à partir de la constance de leurs associations soient plus nombreux parmi le groupe d'enfants ayant répondu positivement à la question : « étais-tu sûr de la couleur que la lettre devait avoir ? Cette couleur reste-elle tout le temps la même ? ». Ce n'est cependant pas le cas ici ; les synesthètes potentiels se trouvent avoir répondu majoritairement par la négative (Figure 9.5), ce qui explique que nos proportions

d'enfants synesthètes potentiels Graphème-Couleur baissent si drastiquement en considérant en même temps les critères de constance et phénoménologique. Ces taux ne changent pas beaucoup lorsqu'on ne considère comme synesthètes potentiels Graphème-Couleur au niveau statistique (i.e. niveau rattaché au critère de constance des associations) que les enfants envisagés comme tels d'après le critère établi par Simner et Bain (2013). En effet, sur le tableau 9.3 répertoriant les enfants synesthètes potentiels d'après notre critère et celui de Simner et Bain (2013), on remarque que trois des sept enfants ayant répondu positivement à la question « Cette couleur reste-elle tout le temps la même ? » ne sont pas considérés comme synesthètes potentiels d'après le critère de constance de l'étude de référence. Ces résultats sont cependant à considérer avec précaution, pour plusieurs raisons :

- les élèves n'ont pas tous répondu aux questions dans les mêmes conditions. Les questions étaient posées à la fin de la deuxième session en fonction du temps qu'il restait. Certaines classes étant plus rapides que d'autres, quelques enfants ont pu répondre individuellement aux questions. Dans d'autres cas, les questions ont été posées en classe entière ou par groupe de trois. Enfin, certains enfants n'ont pas eu du tout le temps de répondre.
- les questions ont pu régulièrement être mal comprises. Certains élèves ont, par exemple, affirmé avoir utilisé tout le temps la même couleur, mais quand leurs productions étaient analysées plus en profondeur, on se rendait compte qu'ils utilisaient une même couleur pour toutes les lettres ou tous les chiffres dans une même session et non pas une seule et même couleur pour un même graphème d'une session à l'autre. Cette difficulté d'interrogation d'un public infantin a par ailleurs été relevée par d'autres auteurs (Flournoy, 1893; Phillips, 1897).

Pour ces deux raisons, le critère phénoménologique n'a pas été retenu pour catégoriser un enfant comme synesthète potentiel.

9.1.3 Le critère de constance chez les enfants testés deux années de suite

L'analyse de la cinquantaine d'enfants ayant pu passer l'ensemble du protocole expérimental une deuxième fois pourrait permettre de vérifier autrement la vali-

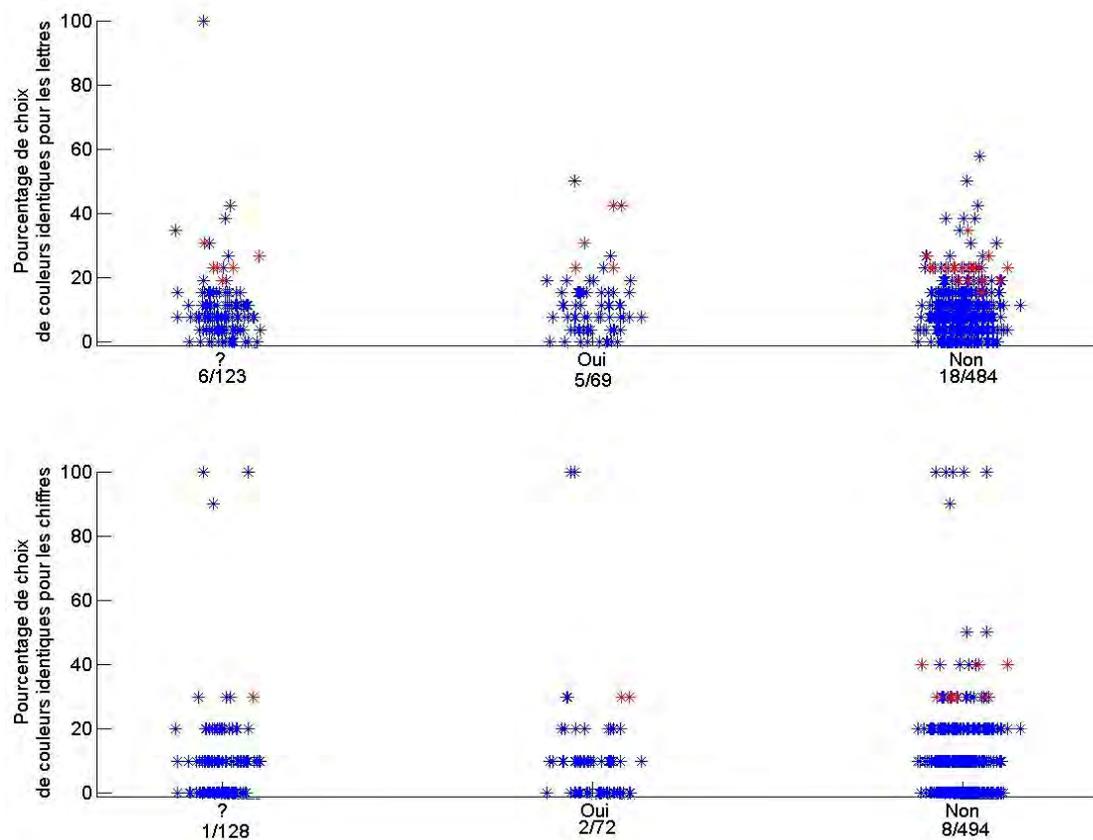


Fig. 9.5: Graphiques illustrant le nombre d'associations Graphème-Couleur similaires entre les sessions 1 et 2, selon l'inducteur (i.e. lettres ou chiffres), la réponse aux questions et le groupe (i.e. les enfants dont la constance entre les sessions est supérieure au seuil attendu par hasard, en rouge, et non-synesthètes, en bleu). En abscisse, le ? représente le groupe d'enfants n'ayant pas pu répondre, *Oui* et *Non* regroupent les enfants ayant répondu positivement ou négativement. $N_{syn}/N_{non-syn}$ constitue, dans chaque catégorie de réponse, le nombre d'enfants dont le niveau de constance est supérieur à ce qui est attendu par chance (N_{syn}) par rapport au nombre d'enfants non-synesthètes ($N_{non-syn}$), une fois les stratégies (par exemple ceux qui ont un score de 100% parce qu'ils n'ont utilisé qu'une seule couleur dans les deux tests) exclus.

Tab. 9.3: **Associations constantes des enfants synesthètes potentiels Lettre-Couleur, et des enfants synesthètes potentiels Chiffre-Couleur, d’après notre critère de sélection.** La colonne *Constance* donne le nombre d’associations similaires entre les deux sessions de l’inducteur de sa synesthésie de chacun des enfants synesthètes potentiels. Les lignes grisées soulignent les enfants qui sont aussi considérés comme synesthètes potentiels d’après le critère Simner et Bain (2013). Les ? représente l’absence de réponses. Les lignes en gras accentuent les enfants synesthètes potentiels ayant répondu positivement.

Enfants	Niveaux scolaires	Type d’associations	Constance	Réponse
<i>E</i> ₆₀	GS	LC	9	Non
<i>J</i> ₈₇	GS	LC	7	?
<i>M</i> ₁₆₃	GS	LC	6	?
<i>M</i> ₁₆₈	GS	LC	5	?
<i>S</i> ₂₁₇	GS	LC	5	Non
<i>A</i> ₂₆₆	CP	LC	8	Oui
<i>A</i> ₂₇₅	CP	LC	6	Non
<i>L</i> ₃₈₅	CP	LC	6	Non
<i>L</i> ₃₈₈	CP	LC	6	Non
<i>M</i> ₄₂₃	CP	LC	6	Non
<i>M</i> ₄₂₄	CP	LC	6	Non
<i>M</i> ₄₂₅	CP	LC	6	Non
<i>N</i> ₄₆₅	CP	LC	11	Oui
<i>O</i> ₄₆₉	CP	LC	4	Non
<i>P</i> ₄₇₄	CP	LC	7	Non
<i>Q</i> ₄₇₇	CP	LC	6	Non
<i>T</i> ₄₄₉	CP	LC	5	Non
<i>W</i> ₅₀₇	CP	LC	6	Non
<i>C</i> ₅₄₂	CE1	LC	6	Oui
<i>J</i> ₅₇₉	CE1	LC	6	Non
<i>L</i> ₅₉₁	CE1	LC	6	Non
<i>L</i> ₆₀₆	CE1	LC	6	?
<i>M</i> ₆₃₅	CE1	LC	6	Oui
<i>M</i> ₆₄₆	CE1	LC	7	Non
<i>P</i> ₆₆₄	CE1	LC	5	Non
<i>R</i> ₆₇₂	CE1	LC	11	Oui
<i>S</i> ₆₈₁	CE1	LC	8	?
<i>T</i> ₆₉₆	CE1	LC	6	?
<i>Y</i> ₇₀₆	CE1	LC	5	Non
<i>N</i> ₁₈₉	GS	CC	3	Non
<i>A</i> ₂₆₉	CP	CC	3	Non
<i>A</i> ₂₇₈	CP	CC	3	Non
<i>L</i> ₄₁₄	CP	CC	2	Oui
<i>M</i> ₄₄₁	CP	CC	4	Non
<i>J</i> ₅₇₉	CE1	CC	4	Non
<i>L</i> ₅₉₅	CE1	CC	4	Non
<i>M</i> ₆₄₀	CE1	CC	3	Non
<i>M</i> ₆₄₉	CE1	CC	3	?
<i>P</i> ₆₆₅	CE1	CC	3	Non
<i>R</i> ₆₇₂	CE1	CC	3	Oui

dité de notre critère de sélection. En effet, si les synesthètes potentiels Graphème-Couleur repérés la première année de passation continuent à être considérés comme tels la seconde année, cela doit permettre de donner plus de poids aux résultats obtenus à partir de la constance seule. Il s'agit d'une stratégie de vérification similaire à celle utilisée par Simner.

Parmi les 41 classes visitées, trois ont pu participer une deuxième fois à la procédure expérimentale ; 45 enfants ont alors passé une seconde fois l'ensemble de la procédure expérimentale (concernant la synesthésie Graphème-Couleur). Parmi eux, trois enfants (G_{80} , S_{217} et A_{266}) étaient considérés comme synesthètes potentiels Graphème-Couleur la première année (deux étaient en GS et un en CP). Ces trois enfants étaient considérés comme synesthètes en incluant l'ensemble des inducteurs interrogés dans l'analyse de la constance (i.e. à la fois les lettres et les chiffres). Deux de ces enfants (S_{217} et A_{266}), sont aussi synesthètes potentiels en analysant la constance de leurs associations Lettre-Couleur. Aucun n'est considéré comme synesthète potentiel à partir de l'analyse de ses associations colorées des chiffres. Seul A_{266} avait répondu positivement à la question de la constance de ses associations ; c'est aussi le seul de ces trois enfants qui aurait été considéré comme synesthète d'après les critères de sélection de Simner et Bain (2013).

En deuxième année, aucun de ces trois enfants considérés comme synesthètes potentiels la première année n'est considéré comme tel la deuxième année. A_{266} continue pourtant d'affirmer associer constamment des couleurs aux graphèmes. Seulement un (autre) enfant (E_{65}) est considéré comme synesthète potentiel Chiffre-Couleur la deuxième année.

Ces résultats suggèrent que les enfants repérés comme synesthètes potentiels la première année ne le sont pas forcément, ce qui remet en cause notre critère de constance pour détecter les synesthètes ; le nombre d'enfants synesthètes serait très inférieur à 40.

Cependant, une autre interprétation de ces résultats est possible. En effet, Simner et Bain (2013) ont observé des trajectoires éclectiques et irrégulières au niveau du nombre d'associations similaires entre deux sessions de test d'une année sur l'autre pour un même enfant synesthète. Par exemple, aucun enfant qu'ils ont considérés comme synesthètes Chiffre-Couleur à la deuxième passation de l'ensemble de la procédure ne l'est encore pour la troisième. De même, un enfant considéré

comme synesthète potentiel Lettre-Couleur à toutes les procédures voit pourtant son nombre d'associations baisser entre la deuxième et la troisième passation. Il peut donc être informatif de regarder plus en détail les différentes trajectoires de chaque enfant.

Si on analyse l'ensemble des combinaisons possibles entre les quatre sessions (i.e. S1-S2, S2-S3, S3-S4, S1-S3, S1-S4, S2-S4, et S1-S4), 6 enfants obtiennent un niveau de constance supérieur à la chance au moins une fois et seulement trois enfants pour deux ou plus comparaisons de sessions ; ces trois enfants sont ceux qui étaient considérés comme synesthètes potentiels Graphème-Couleur la première année de passation (G_{80} , S_{217} et A_{266}). Parmi les trois autres enfants qui dépassent le niveau de chance exactement une fois, on a E_{65} , qu'on avait identifié lors de la deuxième session uniquement. Les deux enfants supplémentaires (A_{262} et M_{420}) sont ceux qui ont le moins d'associations constantes d'une session à l'autre parmi ces six enfants. Cependant, l'un d'eux (A_{262}) a répondu positivement aux questions phénoménologiques la deuxième année (mais pas lors de la première).

E_{65} n'avait pas écrit les chiffres lors de sa première session, et n'avait pas pu, de ce fait, être testée pour la synesthésie Chiffre-Couleur la première année. Un de ses chiffres (le 5) a la même couleur en S2 et S3, et quatre entre S3 et S4 (dont toujours le 5), voire cinq si on considère le 9 gris dans S3 et noir dans S4 (Figure 9.6). G_{80} est un des enfants considérés comme synesthètes potentiels en comptant dans une même analyse l'ensemble des inducteurs (i.e. lettres et chiffres confondus) ; il ressort au niveau statistique en comparant S1 et S2, S1 et S3, et S1 et S4 ; il semble avoir de moins en moins d'associations constantes d'une année sur l'autre (huit associations similaires la 1^{re} année, et seulement quatre la 2nde). Pourtant, à l'examen détaillé de ses quatre sessions (Figure 9.7), on observe au moins six associations similaires dans toutes les combinaisons excepté entre S3 et S4. Sept de ses 35 caractères alphanumériques (le N est oublié dans la S4) sont similaires dans trois de ses quatre sessions (G-vert clair, J-rose, K-marron, U-bleu foncé, 4-jaune, 7-vert foncé, 8-rose), et le E est associé au bleu dans les quatre sessions (deux sont bleu clair, deux bleu foncé). Cet enfant pourrait donc être qualifié de synesthète ; il est en tout cas impossible d'affirmer qu'il ne l'est pas.

Il est plus difficile de tirer une logique dans le développement des associations de S_{217} , si elle est effectivement une synesthète (Figure 9.8). Ses associations fixes

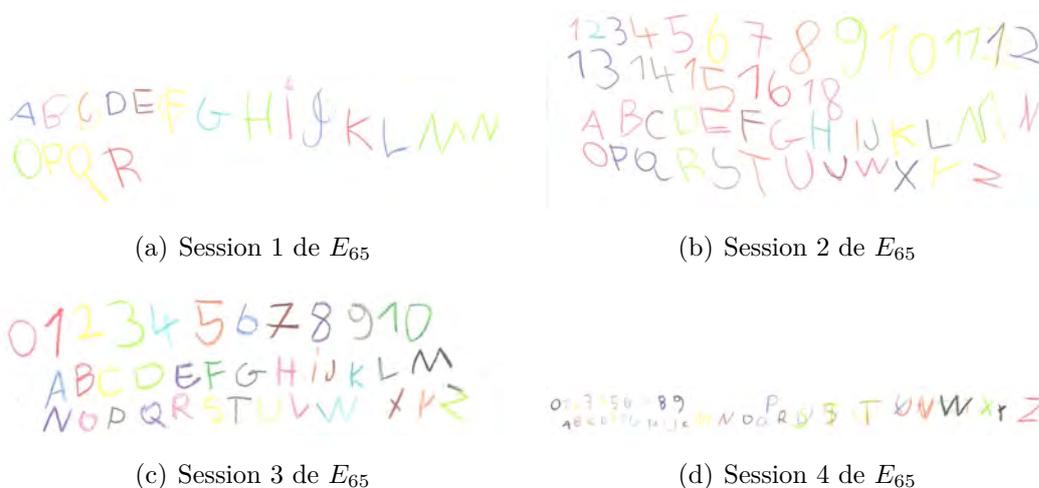


Fig. 9.6: Production de l'enfant considéré comme synesthète Chiffre-Couleur lors de la deuxième passation (du fait du nombre d'associations constantes entre les sessions 3 et 4).

sont considérées comme potentiellement synesthésiques au niveau statistique entre S1 et S2, S2 et S3, S2 et S4. Trois lettres (C-jaune, G-gris/ noir, H-vert) sont similaires dans les trois sessions si on regroupe vert clair et vert foncé, gris et noir. Davantage de lettres sont colorées d'une même couleur entre deux sessions, mais ne se retrouvent pas dans les deux autres.

Enfin A_{266} , le seul enfant synesthète potentiel analysé en CP et en CE1 (il est considéré comme tel au niveau statistique du fait du nombre d'associations similaires entre S1 et S2, et entre S2 et S4, et au niveau phénoménologique les deux années) est aussi le seul enfant à avoir une lettre de la même couleur dans les quatre sessions (A-rouge ; Figure 9.9). Il a trois graphèmes similaires sur trois sessions de test, si on fusionne le vert clair et le vert foncé, le gris et le noir (F-gris/noir, G-vert clair, 5-vert). Il est difficile de savoir si les changements de couleur (et par là-même la baisse du nombre d'associations constantes : huit associations entre S1 et S2, contre cinq entre S3 et S4) du seul enfant étant considéré comme synesthète potentiel en première année à partir de la constance (que ce soit avec notre critère ou celui de Simmer et Bain) et les deux années à partir de la conscience des associations, est dû à son passage de l'écriture script majuscule aux minuscules cursives.



Fig. 9.7: Production d'un enfant considéré comme synesthète Lettre/Chiffre-Couleur la 1^{re} année (associations synesthésiques statistiquement entre S1 et S2, S1 et S3, S1 et S4).

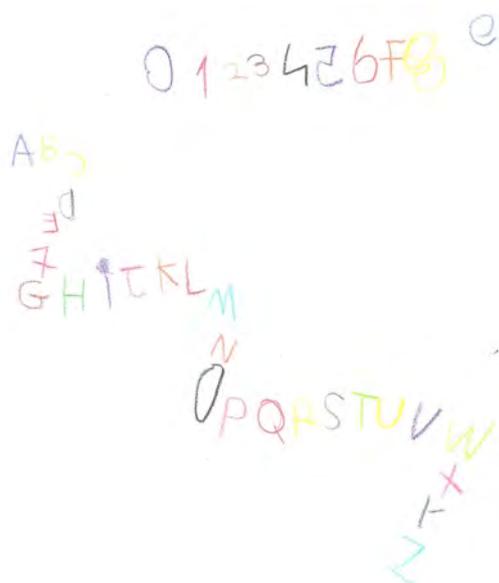
(a) Session 1 de S_{217} (b) Session 2 de S_{217} (c) Session 3 de S_{217} (d) Session 4 de S_{217}

Fig. 9.8: Production d'un enfant considéré comme synesthète Lettre/Chiffre-Couleur et Lettre-Couleur la 1^{re} année (associations synesthésiques statistiquement entre S1 et S2, S2 et S3, S2 et S4).

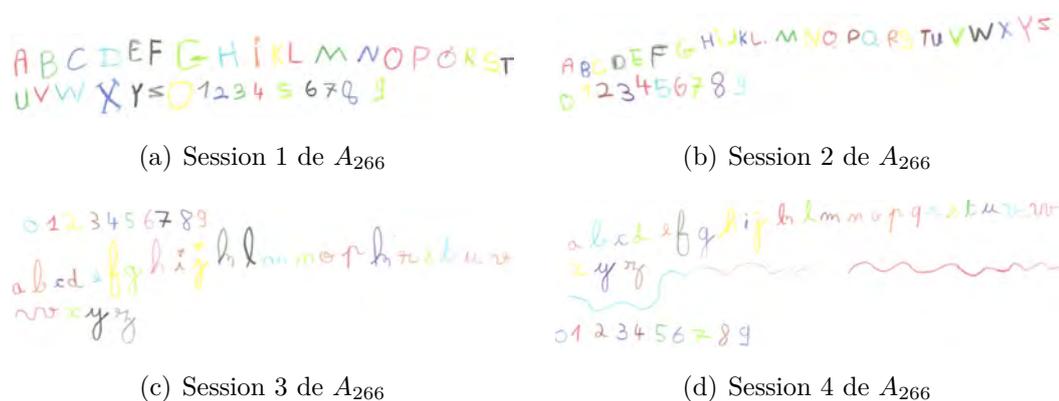


Fig. 9.9: Production de A_{266} , l'enfant considéré comme synesthète Graphème-Couleur et Lettre-Couleur en CP (associations synesthésiques statistiquement entre S1 et S2, et entre S2 et S4).

En résumé, les critères de sélection entérinés chez l'adulte (i.e. constance et conscience des associations) ne paraissent pas aussi pertinents chez l'enfant. Il semble de ce fait difficile de valider l'un ou l'autre de nos critères de sélection des synesthètes, si synesthètes il y a dans les niveaux scolaires interrogés ici. Il paraît également impossible de porter un jugement concernant la présence ou l'absence de synesthésie pour ces trois enfants considérés comme synesthètes potentiels au niveau de la constance des associations en 1^{re} année de passation et dont le nombre d'associations fixes ne passe plus le seuil statistique en deuxième année.

9.1.4 Prévalence de la synesthésie Graphème-Couleur

Dans notre étude de la synesthésie Graphème-Couleur chez l'enfant entre 5 et 8 ans, il est impossible de déterminer de façon sûre un nombre précis de synesthètes à partir de la constance de leurs associations et de leurs réponses aux questions concernant ces mêmes associations, à la manière des études chez l'adulte.

D'après nos résultats, il semble possible que certains enfants soient synesthètes sans pour autant avoir un nombre suffisant d'associations constantes pour être considérés comme tels à partir de notre critère statistique. Ces enfants sont impossibles à détecter du fait de la fragilité de leurs réponses phénoménologiques. Notre

critère statistique pourrait dès lors être considéré comme trop strict.

D'un autre côté, le manque relatif de constance observé d'une année sur l'autre peut suggérer, à l'inverse, que certains enfants synesthètes potentiels sont des « faux positifs ». En effet, avec un critère individuel de chance à 5%, on s'attend à avoir 5% de faux positifs, soit 35 enfants sur 705. Nous n'en avons détecté que cinq de plus¹. Afin d'évaluer le nombre minimum de synesthètes, en se basant uniquement sur le critère de chance, nous avons testé des critères statistiques plus stricts. La Figure 9.10 compare le nombre de synesthètes potentiels détectés au nombre attendu par chance, en fonction du critère statistique. Avec un critère de 1/1000, il ne devrait y avoir aucun des enfants qui passe le critère de chance. Pourtant il en reste six. Ces six sont identifiés sur la Figure 9.11. Quatre d'entre eux sont considérés comme synesthètes potentiels seulement Lettre-Couleur (E_{60} , A_{266} , N_{465} , S_{681}), une est considérée comme synesthète potentielle lorsque l'analyse est effectuée sur l'ensemble de ses inducteurs (J_{579}), et un seul (R_{672}) est considéré comme synesthète potentiel quel que soit l'inducteur analysé (i.e. lettres seules, chiffres seuls, ou les deux à la fois). Ils ne se distinguent pas des autres enfants pour leur pattern d'associations, seulement par leur nombre (cf. Figure 9.3). Ils n'ont pas davantage que les autres répondu plus souvent positivement aux questions phénoménologiques (A_{266} , N_{465} et R_{672} ont répondu positivement, contrairement à E_{60} et J_{579} qui ont répondu non et S_{681} n'a pas pu répondre aux questions). Le nombre minimum d'enfants synesthètes serait donc de 0,85% (I.C. à 95% = [0,35 ; 1,94]%).

On pourrait donc estimer le nombre minimum de synesthètes dans la population générale enfantine à 0,85%. Mais, même parmi les six enfants synesthètes potentiels d'après ce critère statistique strict, le seul enfant ayant pu repasser l'ensemble de la procédure une deuxième fois (A_{266} ; Figure 9.9), ne fait plus partie des synesthètes potentiels la deuxième année, même lorsque le critère statistique reste à 0,05. Un critère de « chance » reste un critère probabiliste, et des événements

1. On peut noter que le critère de chance est considéré ici à 5% alors que chaque enfant peut être considéré comme synesthète selon trois tests (LC, CC ou LCC) ce qui augmente le nombre de faux positifs possibles. Cependant, les résultats sont très similaires si on ne considère qu'un seul test et la synesthésie principale Lettre-Couleur (non montrée); surtout, nous n'avons pas affiné les calculs exacts de probabilité car de toute façon ces raisonnements ne sont que probabilistes, nous ne les présentons que pour donner un ordre de grandeur du risque possible. La suite de cette section montrera de toute façon que les calculs de probabilité ne nous permettent pas de conclure.

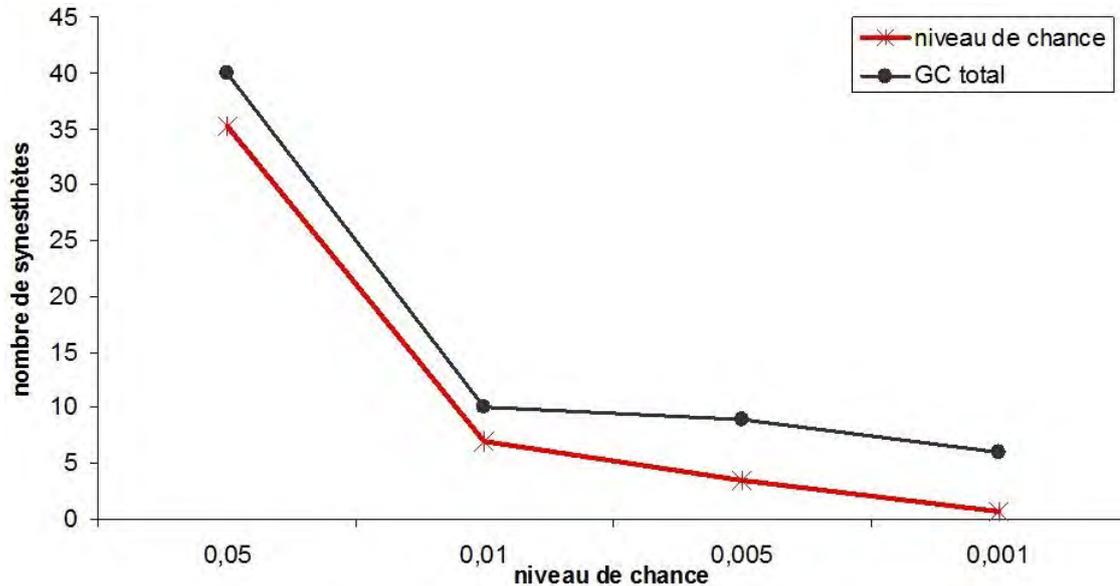


Fig. 9.10: Nombre d'enfants synesthètes potentiel Graphème-Couleur (GC) en fonction du critère statistique utilisé pour déterminer le seuil au-delà duquel le nombre d'associations similaires entre S1 et S2 est considéré comme supérieur au hasard. Le nombre d'enfants pouvant théoriquement être considérés comme synesthètes potentiels sans l'être réellement (faux positifs dus à la méthode statistique employée) est représenté par la ligne rouge (niveau de chance).

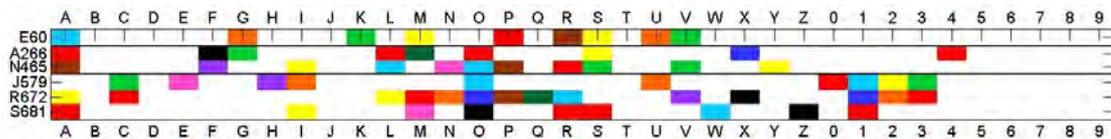


Fig. 9.11: Associations fixes des 6 enfants synesthètes potentiels avec un critère statistique individuel à 0,001.

statistiquement rares restent possibles : c'est la limite de tout critère statistique. Dans ce contexte, et au vu des évaluations effectuées sur nos deux critères (observations des données phénoménologiques, analyse de nos données d'après les critères de Simner et Bain, 2013), et de l'examen des résultats de l'étude longitudinale, le critère de constance mis en place dans cette thèse n'est pas satisfaisant pour repérer les synesthètes de façon sûre, même en en choisissant un plus strict, de façon arbitraire. La nature des synesthésies chez l'enfant, si elles existent vraiment (dans un sens comparable à celles qui existent chez l'adulte, ce que nos données ne permettent pas d'attester), ne permet cependant pas de trouver de meilleure méthode, en tout cas dans les limites posées par une étude à grande échelle au sein de l'Education Nationale, dont les priorités ne sont évidemment pas de repérer les synesthètes.

En d'autres termes, notre groupe de 40 synesthètes potentiels a des chances d'inclure une proportion, inconnue, de « vrais » synesthètes, même s'il est impossible d'identifier au sein de ce groupe qui seraient ces vrais synesthètes.

La proposition alternative, également possible, est que ces 40 enfants ont été sélectionnés uniquement sur la base des caprices du hasard.

Ces deux propositions ne font pas les mêmes prédictions quant aux propriétés éventuelles de ces enfants et les caractéristiques de leurs associations, comme il sera expliqué plus loin. C'est pourquoi nous garderons ce groupe de 40 synesthètes potentiels, sur 705 enfants retenus dans l'analyse (et une fois les « stratèges » supprimés) pour une étude plus approfondie dans le chapitre 10.

9.2 Synesthésie Graphème-Genre

Aucune recherche ne s'est pour l'heure intéressée à la prévalence de la synesthésie Graphème-Personnalité dans une population enfantine et très peu d'études ont porté sur l'adulte (Calkins, 1895; Chun et Hupé, 2013; Seron *et al.*, 1992; Simner et Holenstein, 2007), que ce soit dans la population en général ou dans le cadre d'étude de cas.

Comme la synesthésie Graphème-Couleur, la synesthésie Graphème-Personnalité est interrogée chez l'adulte en s'attachant au critère de constance des associations et au critère phénoménologique (i.e. conscience des associations). Nous avons donc

interrogé, ici encore, la prévalence de cette forme de synesthésie chez l'enfant à partir de ces deux critères.

D'autre part, du fait de difficultés méthodologiques (cf. section 6.2, page 156), nous nous sommes attachés, dans cette thèse, à étudier la synesthésie Graphème-Personnalité par l'intermédiaire des associations Graphème-Genre.

9.2.1 La constance des associations Graphème-Genre

Distribution du niveau de constance de l'ensemble de l'échantillon interrogé comparée à ce qui est observé habituellement chez l'adulte

Comme pour la synesthésie Graphème-Couleur, la constance des associations Graphème-Genre est un des deux critères utilisés pour caractériser leur nature synesthésique. Nous nous sommes donc ici aussi attachés à déterminer la constance des associations entre les caractères alphanumériques et le genre dans un échantillon d'enfants entre 5 et 8 ans.

La distribution des scores de constance des choix de genre (pour les lettres et les chiffres) des 706 enfants ayant pris part à l'analyse ne présente pas de caractère bimodal (Figure 9.12). Nous ne pouvons donc pas décider de manière claire et précise d'un seuil correspondant au nombre minimum d'associations identiques nécessaire pour considérer un enfant comme synesthète potentiel Graphème-Genre. Le niveau de constance de certains enfants synesthètes potentiels Graphème-Genre chevauche celui d'autres enfants, même après avoir distingué les enfants ayant utilisé une stratégie reconnue (i.e. dans le cadre de cette synesthésie, l'association de tous les inducteurs d'un même type à un même genre).

Comme chez l'adulte, les associations entre les caractères alphanumériques et leur concurrent semblent moins constantes que pour d'autres formes de synesthésie telle que la synesthésie Graphème-Couleur, que ce type de synesthésie soit interrogé à partir de descriptions de personnalité complète (Amin *et al.*, 2011; Simner *et al.*, 2011a) ou seulement à partir du genre (Amin *et al.*, 2011). Les participants non-synesthètes peuvent avoir des résultats proches de ceux des synesthètes en matière de constance du genre (cf. Section 2.2.2, page 47). L'absence de démarquage net entre synesthètes et non-synesthètes potentiels Graphème-Genre dans notre échantillon d'enfants, semble donc aller dans le même sens que chez l'adulte.

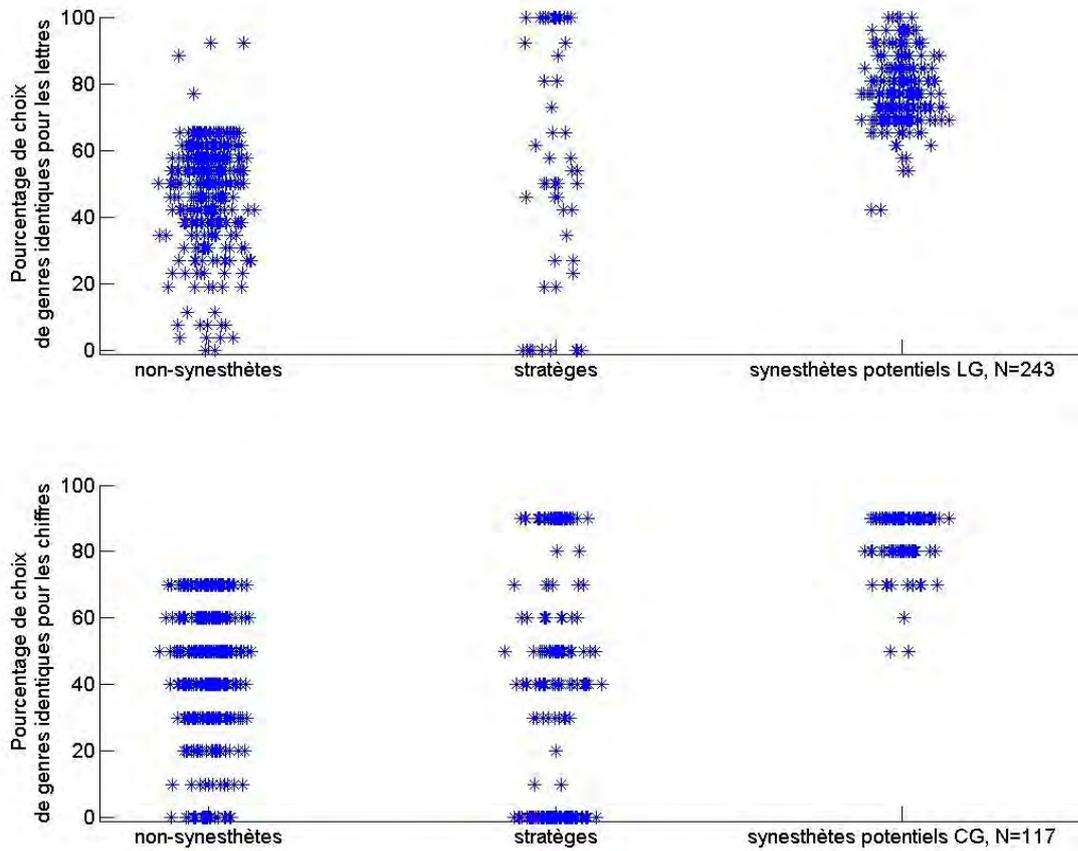


Fig. 9.12: Pourcentage de constance Graphème-Genre de tous les enfants interrogés dans cette thèse selon l'inducteur analysé (i.e. lettre ou chiffre) et selon le groupe (i.e. non-synesthètes, stratèges, ou synesthètes potentiels). N représente le nombre d'enfants synesthètes potentiels. LG et CG sont employés pour Lettre-Genre et Chiffre-Genre. Le pourcentage est calculé ici à partir du nombre maximal d'inducteurs possibles. La valeur exacte de l'abscisse dans chaque groupe n'a pas de signification ; elle est aléatoire pour permettre la visualisation.

Comme pour notre étude sur la synesthésie Graphème-Couleur, nous commençons par utiliser un seuil arbitraire de chance pour considérer certains enfants comme synesthètes potentiels Graphème-Genre.

Nombre de synesthètes potentiels Graphème-Genre d'après notre critère de sélection

Rappel : critère statistique de sélection des enfants considérés comme synesthètes Graphème-Genre

Les synesthètes potentiels au niveau statistique sont, comme pour l'étude de la synesthésie Graphème-Couleur, les enfants dont le nombre d'associations fixes entre les sessions 1 et 2 est supérieur au hasard. Le seuil correspondant au hasard est calculé pour chaque participant indépendamment, en créant 50000 tirages aléatoires de sa session 1 (S1) basés sur le même nombre de genres utilisés et d'inducteurs que dans sa véritable S1 et en comparant ces tirages aux 50000 tirages aléatoires effectués exactement de la même manière pour sa seconde session. Si le nombre d'associations similaires entre les vraies S1 et S2 est supérieur à celui obtenu pour 95% de la distribution aléatoire, l'enfant est considéré comme un synesthète potentiel.

Cette analyse a pu être menée en séparant les différents inducteurs possibles ; chaque réponse a donc été analysée trois fois : une fois pour toutes les lettres de l'alphabet (i.e., le niveau de constance maximum est 26/26), une fois pour tous les chiffres (le niveau de constance maximum est 10/10) et une fois pour l'ensemble des graphèmes (le niveau de constance maximum est 36/36).

Sont donc exclus automatiquement de chacun de ces sous-groupes tous les enfants effectuant une stratégie d'association (i.e. utilisation d'un seul genre pour l'ensemble des lettres ou des chiffres) puisque le nombre de genre utilisé par session est pris en compte dans le calcul de seuil du hasard.

En considérant qu'un enfant était potentiellement synesthète si son nombre d'associations fixes atteignait le critère statistique pour les lettres, les chiffres ou les deux, et après avoir exclu les enfants utilisant des stratégies d'associations (i.e. 205 enfants stratèges repérés parmi les enfants, quel que soit l'inducteur), 316 enfants (sur 706) sont considérés comme synesthètes potentiels, dont 99 enfants de Grande Section de Maternelle (GS ; $N_{GS} = 251$; âge moyen = 5 ans), 119 enfants de Cours Préparatoire (CP ; $N_{CP} = 260$; âge moyen = 6 ans), et 98 enfants de 1^{re} année de Cours Élémentaire (CE1 ; $N_{CE1} = 195$; âge moyen = 7 ans). Ce nombre change selon l'inducteur analysé : il semble diminuer de moitié entre les lettres et

les chiffres. En effet, 243 enfants associent lettres et genres (77 GS, 90 CP et 76 CE1) alors que seulement 117 enfants semblent associer des chiffres aux genres (30 GS, 46 CP et 41 CE1).

Pour la synesthésie Lettre-Genre, les synesthètes potentiels ont au moins 42,3% d'associations constantes (i.e. au moins onze lettres du même genre entre deux sessions) et au maximum 100% (i.e. les 26 lettres similaires). Les synesthètes potentiels Chiffre-Genre ont quant à eux entre 50% et 90% d'associations constantes (i.e. au moins cinq des 10 chiffres similaires et au plus neuf des 10 chiffres).

Comme pour l'étude de la synesthésie Graphème-Couleur, notre critère de sélection permet de calculer le nombre d'enfants synesthètes potentiels à partir du niveau de constance des genres associés aux 26 lettres de l'alphabet et aux dix chiffres dans une seule et même analyse, soit le niveau de constance des 36 graphèmes testés. D'après cette analyse, 275 enfants sont considérés comme synesthètes potentiels, dont 84 enfants d'en moyenne 5 ans, 105 d'en moyenne 6 ans et 86 d'en moyenne 7 ans. Sur ces 275 enfants, seulement 28 ne sont considérés comme synesthètes potentiels ni avec les lettres seules ni avec les chiffres seuls.

Pour résumer, d'après notre critère de sélection basé sur la constance des associations, nous aurions donc (Figure 9.13) 44,76% (I.C. à 95% = [41,1 ; 48,5]%) des enfants de notre échantillon considérés comme potentiels synesthètes Graphème-Genre. Parmi les 706 enfants, 34,4% associeraient les lettres et les genres (I.C. à 95% = [30,9 ; 38,1]%), 16,6% les chiffres et les genres (I.C. à 95% = [13,9 ; 19,6]%), et 38,9% associeraient à la fois les lettres et les chiffres aux genres (I.C. à 95% = [35,4 ; 42,7]%).

Cette prévalence paraît particulièrement élevée, quel que soit l'inducteur pris en considération dans l'analyse, au vu des résultats présentés dans la littérature scientifique chez l'adulte : le taux maximal observé est de 34,58% dans une étude employant une méthode de recrutement systématique (Calkins, 1895) et de 32,66% dans une recherche sur un groupe exclusivement composé de synesthètes d'autres formes reconnues (Amin *et al.*, 2011).

Cette différence pourrait notamment être due à une grande difficulté de distinction entre les enfants synesthètes potentiels et les enfants stratégiques. La tâche demandée se basait sur une réponse binaire (i.e. écrire le graphème soit dans la colonne « fille », soit dans la colonne « garçon ») et des stratégies ont pu être employées

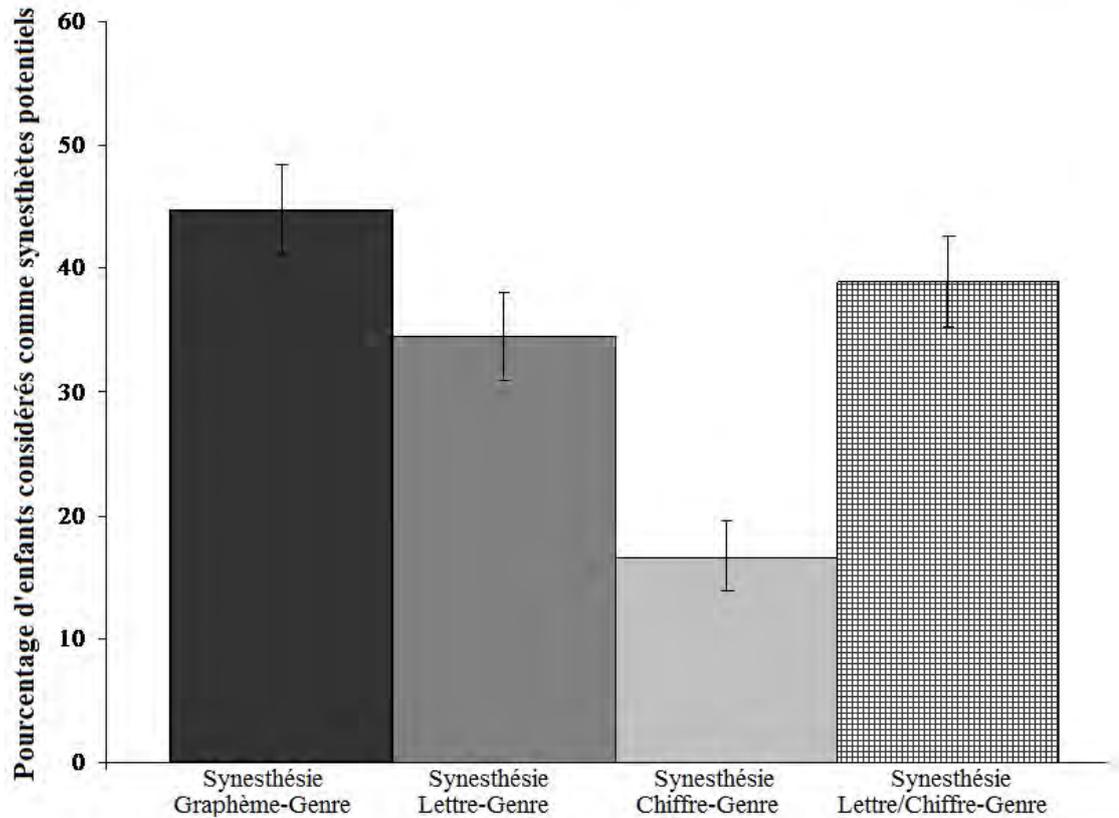


Fig. 9.13: Nombre d'enfants considérés comme synesthètes potentiels selon le critère de constance mis en place dans cette thèse et le type d'inducteur analysé. Les barres d'erreur correspondent à l'intervalle de confiance à 95% de la proportion. La proportion de synesthètes potentiels Graphème-Genre correspond au nombre d'enfants associant soit des lettres, soit des chiffres, soit les deux à des couleurs, la proportion Lettre-Genre en se basant sur la constance de l'ensemble des lettres présentes dans ces productions (soit une constance maximum de 26), la proportion Chiffre-Genre en se basant sur la constance de l'ensemble des chiffres présents (soit une constance maximum de 10), et la proportion Lettre/Chiffre-Genre en se basant sur la constance de l'ensemble des inducteurs présents (soit lettres et chiffres confondus, une constance maximum de 36).

pour la résoudre. La stratégie principale (consistant à associer toutes les lettres ou tous les chiffres à un même genre) a pu être mise à part grâce à une procédure automatisée, mais l'enfant a pu aussi associer une lettre sur deux à un même genre, par exemple, et alors ne pas être exclu de la liste des synesthètes potentiels. De plus, toutes les stratégies ne peuvent être supprimées automatiquement et au vu du nombre d'enfants considérés comme synesthètes potentiels, il est difficile d'observer leurs productions une par une pour distinguer les synesthètes réels des enfants ayant usé d'une stratégie pour effectuer l'exercice demandé.

Un critère supplémentaire semble alors nécessaire pour attester de la synesthésie d'un enfant.

9.2.2 Le critère phénoménologique chez l'enfant et chez l'adulte comme moyen de vérification de notre critère de constance

Comme pour la synesthésie graphème-Couleur, la synesthésie Graphème-Genre a pu aussi être étudiée, chez l'adulte, à partir du critère de conscience des associations (i.e. critère phénoménologique) par l'intermédiaire d'un questionnaire.

Si on considère alors les enfants synesthètes potentiels Graphème-Genre à la fois au niveau statistique (i.e. constance des associations supérieur à 95% de ce qui est attendu par hasard) et au niveau phénoménologique (i.e. la réponse aux questions), le taux de prévalence de cette forme de synesthésie baisse considérablement : 12,3% des participants ayant répondu aux questions se révèlent être synesthètes potentiels pour les deux critères à la fois (I.C. à 95% = [9,8 ; 15,4]%), contre 44,8% de synesthètes potentiels avec le critère de constance seul. Cette baisse est visible quel que soit l'inducteur analysé : 8,8% des enfants sont ainsi considérés comme synesthètes potentiels en associant des lettres aux genres (I.C. à 95% = [6,7 ; 11,5]%), 5,1% en associant des chiffres (I.C. à 95% = [3,5 ; 7,4]%), et 10,9% en associant à la fois des lettres et des chiffres (I.C. à 95% = [8,5 ; 13,9]%).

En considérant ensemble les deux critères de sélection des synesthètes, on observe cette fois des taux plus proches de ce qui a pu être relevé dans la littérature, notamment chez l'adulte français (Chun et Hupé, 2013, relèvent par exemple un taux de synesthésie Graphème-Personnalité à 11,9% dans un échantillon d'adultes français, cf. Section 1.2, page 25). Nous pourrions donc nous satisfaire de la combinaison

de ces deux critères. Mais en regardant plus en détail la répartition des enfants en fonction de leur réponse (Figure 9.14), on observe qu'un nombre important d'enfants considérés comme non-synesthètes ont répondu positivement (sur 131 réponses positives, seulement 38% viennent d'enfants synesthètes potentiels selon le critère de constance). Comme pour l'étude de la synesthésie Graphème-Couleur, il semble alors important de s'interroger sur la validité du critère phénoménologique. En plus du fait que tous les enfants n'ont pas répondu aux questions dans les mêmes conditions (questions parfois posées en classe entière ou par groupe de trois), les questions peuvent avoir été mal comprises.

Trois élèves ont pu commenter leur réponse :

- R_{479} affirme associer tous ses inducteurs au genre féminin. En fait, dans sa session 2 (i.e. session à la suite de laquelle sont posées les questions) tous les chiffres et la majorité des lettres (sauf six) sont féminins. Dans sa première session, la moitié des chiffres et toutes ses lettres sauf huit sont effectivement féminins. Il serait possible de penser que cet enfant est un synesthète potentiel. Il est considéré comme tel d'après la constance de ses associations Lettre-Genre, mais pas avec les chiffres.
- A_{255} affirme constamment des lettres et des chiffres à un genre sauf le A. Pourtant le A est associé à un garçon dans les deux sessions. Il est considéré statistiquement comme synesthète potentiel en analysant les lettres seules, les chiffres seuls, et les deux types d'inducteur ensemble.
- M_{432} pense n'associer que les lettres à un genre. Il est effectivement considéré comme synesthète potentiel à partir de l'analyse des associations entre lettres et genres, mais aussi lorsque tous les inducteurs sont considérés ensemble. Dans les faits, 30 de ses 36 graphèmes se trouvent être associés de la même façon entre ses deux sessions, ainsi que six de ses dix chiffres.

Ces observations pourraient appuyer l'idée que les enfants synesthètes potentiels Graphème-Genre d'après le critère de constance et qui ont répondu positivement à la question de la constance de leurs associations sont effectivement probablement synesthètes. Mais d'un autre côté, 64 enfants parmi ceux à avoir répondu « oui » à ces questions ont utilisé une stratégie d'associations dans l'une de leur session de test. Certains enfants semblent donc avoir mal compris la question (dans notre exemple, les enfants associent effectivement toutes les lettres ou tous les chiffres à

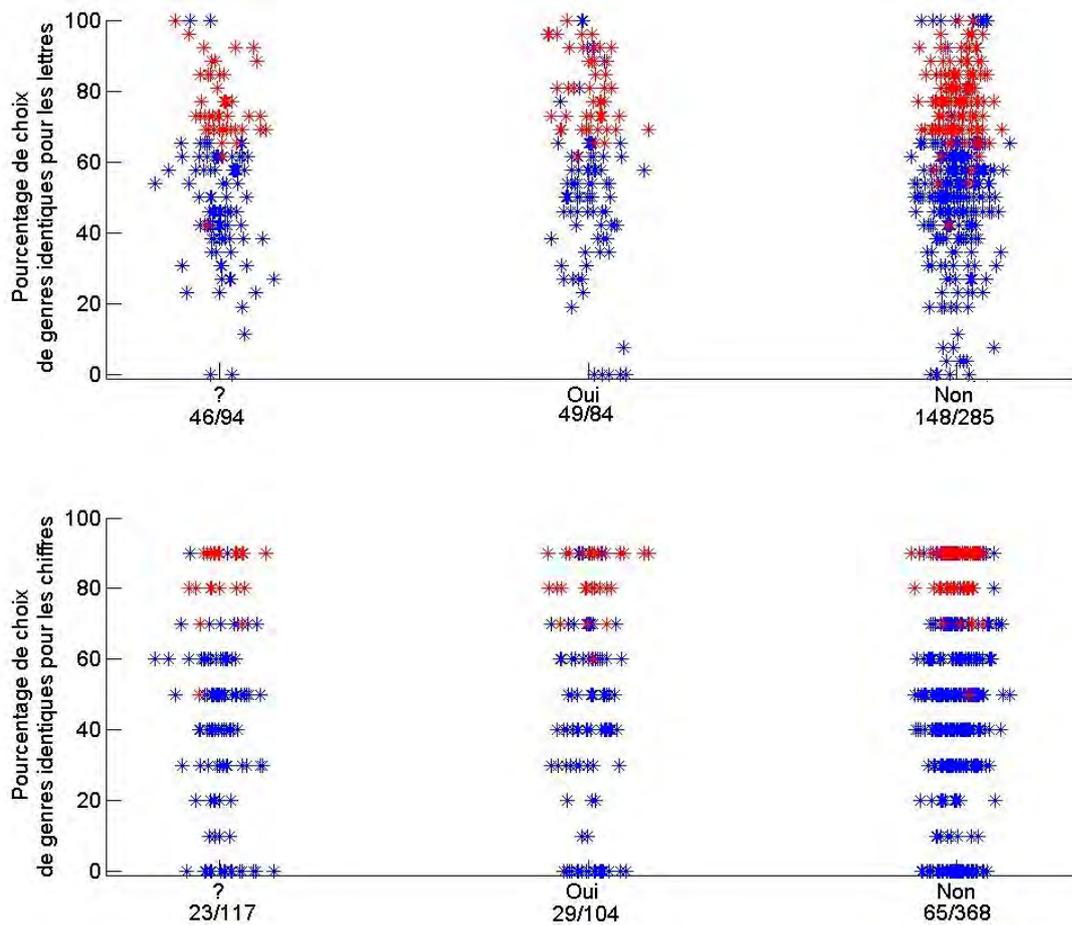


Fig. 9.14: Graphiques illustrant le nombre d'associations Graphème-Genre similaires entre les sessions 1 et 2, selon l'inducteur (i.e. lettres ou chiffres), la réponse aux questions et le groupe (i.e. les enfants dont la constance entre les sessions est supérieure au seuil attendu par hasard, en rouge, et non-synesthètes, en bleu). En abscisse, le ? représente le groupe d'enfants n'ayant pas pu répondre, *Oui* et *Non* regroupent les personnes ayant répondu positivement ou négativement. $N_{syn}/N_{non-syn}$ constitue, dans chaque catégorie de réponse, le nombre d'enfants dont le niveau de constance est supérieur à ce qui est attendu par chance (N_{syn}) par rapport au nombre d'enfants non-synesthètes ($N_{non-syn}$), une fois les stratèges exclus.

un même genre mais entre eux et non d'une session à l'autre, ou encore R_{479} qui est qualifié comme synesthète potentiel à la fois par le critère statistique et par le critère phénoménologique, mais qui ne développe pourtant pas l'argument phénoménologique de façon correcte). Cette dernière observation renforce les remarques d'autres auteurs concernant la difficulté d'interroger un public enfantin (Flournoy, 1893; Phillips, 1897), et appuie nos précédentes observations. Pour ces raisons, et comme dans le cadre de notre étude de la synesthésie Graphème-Couleur chez l'enfant, le critère phénoménologique n'a pas été retenu pour catégoriser un enfant comme synesthète potentiel Graphème-Genre.

9.2.3 Le critère de constance chez les enfants testés deux années de suite

Sur les 43 enfants qui ont pu faire quatre sessions de tests concernant la synesthésie Graphème-Genre (i.e. deux sessions la 1^{re} année, deux sessions la 2^{de} année), 24 enfants sont analysés de la même manière les deux années, avec 14 enfants qui sont considérés les deux années comme synesthètes potentiels (Tableau 9.4). Si on ne considérait comme synesthètes potentiels que les enfants dont la constance est supérieur à la chance les deux années de suite, le taux de prévalence serait de 32,6% (I.C. à 95% = [19,5 ; 48]%). Mais 16 enfants changent de groupe d'une année sur l'autre : cinq étaient considérés comme synesthètes potentiels en 1^{re} année mais plus la 2^{de}. La répartition des valeurs dans ce tableau pourrait en fait être aisément obtenue par chance (test de Chi2 avec correction de Yates, $p = 0,29$).

Tab. 9.4: Nombre total d'enfants considérés comme synesthètes potentiels selon l'année de passation (i.e. 1^{re}, A1, ou 2^{de}année, A2). Quatorze enfants sont potentiellement synesthètes les deux années de passation.

		A1	
		synesthètes potentiels	non synesthètes
A2	synesthètes potentiels	14	11
	non synesthètes	5	10

En séparant les enfants en fonction de leur niveau scolaire, on peut noter que les huit enfants considérés comme synesthètes Graphème-Genre en CP (la 1^{re} année)

le sont toujours en CE1 (Tableau 9.5). Cela pourrait nous permettre de penser que notre critère serait plus pertinent pour la tranche d'âge la plus âgée, s'il n'y avait pas, parmi les enfants non synesthètes en CP en 1^{re} année, autant d'enfants considérés comme synesthètes potentiels que comme non synesthètes la 2^{nde} année : même en ne considérant que les valeurs des CP-CE1 (8/4/0/3), leur répartition dans le tableau pourrait être obtenue par chance (test de Chi2 avec correction de Yates, $p = 0,15$).

Tab. 9.5: Nombre d'enfants considérés comme synesthètes potentiels selon l'année de passation (i.e. 1^{re}, A1, ou 2^{nde}année, A2) et le niveau scolaire (GS-CP ou CP-CE1). Six enfants, en GS en 1^{re} année et en CP la 2^{nde} année de passation, sont potentiellement synesthètes les deux années.

		A1			
		synesthètes potentiels		non synesthètes	
		GS-CP	CP-CE1	GS-CP	CP-CE1
A2	synesthètes potentiels	GS-CP CP-CE1	6 8	7 4	7 4
	non synesthètes	GS-CP CP-CE1	5 0	9 3	9 3

Nous pourrions aussi considérer comme synesthètes potentiels Graphème-Genre les enfants dont le niveau de constance reste supérieur à la chance quelles que soient les sessions comparées (S1-S2, S2-S3, S3-S4, S1-S3, S1-S4, S2-S4). Trois enfants satisfont ce critère ; en outre, un enfant dépasse le nombre d'associations fixes attendues par chance pour cinq de ces six comparaisons, et deux enfants pour quatre d'entre elles. Chacun de ces enfants était considéré comme synesthète potentiel Graphème-Genre pour la première session. En considérant l'ensemble de ces six enfants comme des synesthètes potentiels, la prévalence de la synesthésie serait alors de 13,95% (I.C. à 95% = [5,8 ; 28,6]%) et au plus strict (i.e. en considérant seulement les trois enfants étant supérieur à la chance dans les six comparaisons) de 6,98% (I.C. à 95% = [1,8 ; 20,13]%). A l'inverse, seuls neuf enfants sont systématiquement considérés comme non synesthètes pour les six comparaisons possibles. Les résultats des enfants ayant pu passer l'ensemble du protocole expérimental une deuxième fois ne semblent donc pas non plus nous permettre d'améliorer nos difficultés méthodologiques (i.e. notre incapacité à détacher les enfants synesthètes

potentiels des autres d'après le seul critère de constance).

Pour avoir une idée de l'écart entre le nombre de synesthètes obtenus et le nombre plus vraisemblable d'enfants synesthètes potentiels, il est intéressant d'analyser les données de l'expérience pilote (cf. Section 6.2.1, page 156), dans laquelle il a été possible de regarder une à une chacune des productions des enfants, pour séparer synesthètes et non-synesthètes utilisant des stratégies d'associations dans ce même exercice. Cette étude pilote peut aussi donner une première idée de la différence entre le nombre d'enfants synesthètes Graphème-Personnalité et son sous-type Graphème-Genre.

9.2.4 Le critère de constance dans l'expérience pilote, un autre moyen de tester sa validité

Dans l'exercice 2 de l'étude pilote, traitant de la synesthésie Graphème-Genre, sur les 22 enfants retenus dans l'analyse, six enfants ont été considérés comme synesthètes potentiels après l'exclusion des stratèges, soit 27,3% (I.C. à 95% = [11,6 ; 50,4]%). Vu le petit nombre d'enfants interrogés dans cette recherche pilote, il n'est pas possible de dire si la proportion observée dans l'étude définitive est différente (I.C. à 95% de la différence entre les deux proportions = [-4,98 ; 34,58]%). On peut cependant noter que dans l'étude pilote, un seul stratège a été supprimé en plus de ceux exclus par l'algorithme, après l'analyse visuelle détaillée des deux productions de chaque enfant, soit 4,55% (I.C. à 95% = [0,8 ; 21,8]%). Il organisait ses caractères alphanumériques en les associant une fois sur deux à une fille. Même en utilisant la limite haute du nombre de stratèges exclus dans l'expérience pilote, le nombre de synesthètes potentiels Graphème-Genre reste dans la fourchette haute des prévalences reportées dans la littérature scientifique : le nombre de synesthètes Graphème-Genre réels serait plus proche de 35% (I.C. à 95% = [31,5 ; 38,7]%), contre 34,6% dans l'étude de Calkins (1893), 20,5% dans celle de Melero et collègues, (2015) et 11,9% dans celle de Chun et Hupé (2013).

Cette différence pourrait cependant être due au type de synesthésie observé ; la synesthésie Graphème-Genre pourrait être plus répandue que la synesthésie Graphème-Personnalité. Les observations de l'étude pilote semblent aller dans ce sens, mais la puissance des résultats ne permet pas d'interroger cette question

au niveau statistique ; le nombre de synesthètes Graphème-Personnalité mis en avant grâce à l'exercice 3 de cette recherche pilote est de trois synesthètes sur les 22 enfants retenus dans l'analyse, soit une proportion de 13,64% (I.C. à 95% = [3,6 ; 36]% contre 27,27% d'enfants potentiels synesthètes Graphème-Genre dans cette même étude pilote. Par ailleurs, deux des trois enfants synesthètes potentiels Graphème-Personnalité sont aussi considérés comme synesthètes potentiels Graphème-Genre d'après notre critère de constance (soit 9,1% des 22 enfants ; I.C. à 95% = [1,6 ; 30,6]%).

Toutes ces remarques confirment le côté arbitraire de notre critère et suggèrent que nous ayons possiblement un nombre, inconnu, de faux positifs parmi nos synesthètes potentiels. Cela nous incite encore une fois à nous interroger sur l'existence de cette forme de synesthésie chez l'enfant, ou tout au mieux, notre capacité à détecter cette particularité dans une population jeune (les enfants de l'étude pilote étant, par ailleurs, plus âgés que les enfants de l'étude principale).

9.2.5 Prévalence de la synesthésie Graphème-Genre

Dans notre étude de la synesthésie Graphème-Genre chez l'enfant entre 5 et 8 ans, il est impossible de déterminer un nombre précis de synesthètes à partir de la constance de leurs associations et de leurs réponses aux questions concernant ces mêmes associations, à la manière des études chez l'adulte. Cette remarque est encore plus vraie que dans le cadre de la synesthésie Graphème-Couleur puisqu'ici l'enfant faisait un choix binomial (et non 12 choix différents pour un caractère alphanumérique, comme c'est le cas pour le test concernant la synesthésie Graphème-Couleur). Les réponses phénoménologiques ne permettent pas, elles non plus, de détacher les synesthètes Graphème-Genre du reste du groupe, si tant est qu'il y ait des enfants synesthètes parmi les tranches d'âge interrogées dans le cadre de cette thèse.

Comme dans le cadre de notre étude sur la synesthésie Graphème-Couleur chez l'enfant, nous avons tenté de calculer le nombre d'enfants synesthètes potentiels qui seraient des « faux positifs ». En effet, comme pour cet autre type de synesthésie, nous avons un critère individuel de chance à 5% (cf. Section 7.1.1, page 165, et encadré page 222), et donc on s'attend à avoir 5% de faux positifs, soit 35

enfants sur 706 ; nous en avons détecté 281 de plus. Le nombre d'enfants au dessus du critère de chance est tout aussi important avec un critère statistique plus strict. La Figure 9.15 compare le nombre de synesthètes potentiels détectés au nombre attendu par chance, en fonction du critère statistique. On ne devrait pas obtenir de faux positifs avec un critère de 1/1000, et pourtant, 137 enfants dépassent le critère strict. Il n'y a que dans le cadre de la synesthésie Chiffre-Genre que le nombre de synesthètes potentiels se rapproche du nombre de faux positifs attendu d'après le critère, et même pour ce sous-type de synesthésie, ce n'est le cas que dans le cadre du critère le plus strict (avec un critère individuel de chance à 0,001, seulement quatre enfants sont considérés comme potentiels synesthètes Chiffre-Genre). Ces 137 enfants synesthètes potentiels Graphème-Genre avec le critère statistique strict n'ont pas davantage été considérés comme tels avec le critère phénoménologique que dans le cas du critère à 0,05 (21,2% d'enfants synesthètes potentiels au critère statistique à 0,0001 répondant positivement contre 22,2% au critère de 0,05). Il est donc envisageable que beaucoup des enfants repérés comme synesthètes potentiels utilisent des stratégies (lexicales) d'associations qu'il est difficile de mettre en avant avec la procédure utilisée dans cette thèse (que ce soit la procédure de passation du test en lui-même ou d'analyse des résultats, ou la tâche utilisée en elle-même). Certains enfants nous ont par exemple indiqué avoir associé les lettres à des genres en s'appuyant sur la première lettre du prénom de leurs amis (e.g. si leurs amis sont des filles la lettre qui initie leur prénom sera considérée comme féminine).

Mais il est également envisageable que l'association de genre à des lettres et des chiffres soit fortement présente chez l'enfant, au moins autant sinon davantage que chez l'adulte. L'évidence en faveur de la présence de synesthésie Graphème-Genre chez ces jeunes enfants semble plus convaincante que pour la synesthésie Graphème-Couleur.

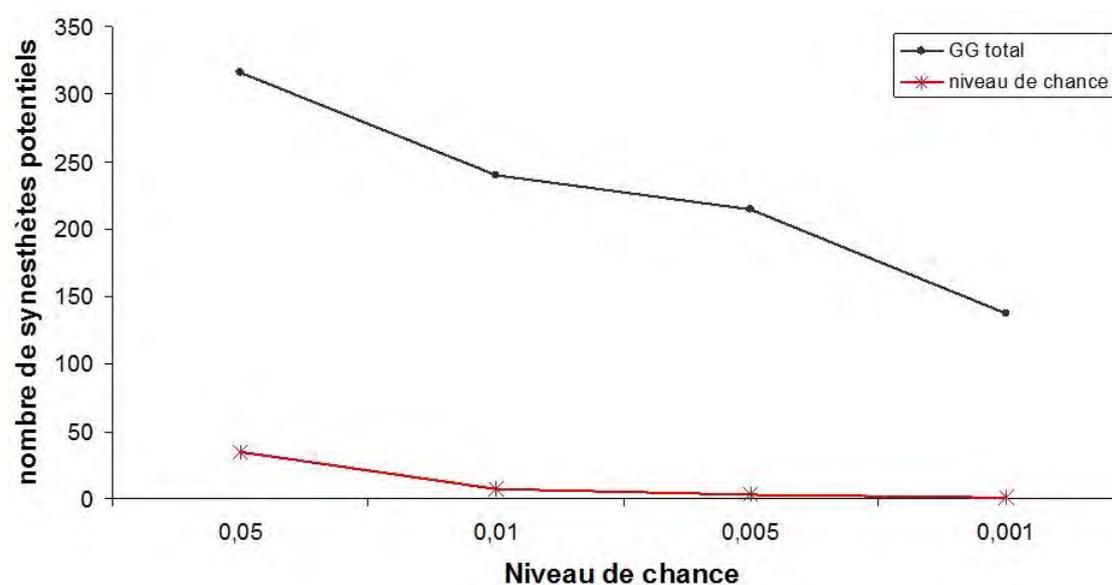


Fig. 9.15: Nombre d'enfants synesthètes potentiels Graphème-Genre (GG) en fonction du critère statistique utilisé pour déterminer le seuil au-delà duquel le nombre d'associations similaires entre S1 et S2 est considéré comme supérieur au hasard. Le nombre d'enfants pouvant théoriquement être considéré comme synesthètes potentiels sans l'être réellement (faux positifs dus à la méthode statistique employée) est représenté par la ligne rouge (« niveau de chance »).

9.3 Synesthésie Forme des nombres

Plusieurs recherches se sont déjà intéressées à la prévalence de la synesthésie Forme des nombres chez l'enfant (Flournoy, 1893; Galton, 1883; Peabody, 1915; Phillips, 1897), mais les tranches d'âge étudiées et les méthodes utilisées varient de l'une à l'autre (cf. Section 1.2, page 25).

Comme pour les autres formes de synesthésie, c'est encore une fois la constance et la conscience des associations qui est considérée pour déterminer la synesthésie d'un individu. Cependant, la méthode employée pour étudier la constance de la synesthésie Forme des nombres n'est pas autant standardisée que pour les autres formes de synesthésie. Dans les premières études, la constance entre les nombres et leur position spatiale dans la séquence était interrogée de manière qualitative, à travers le dessin. C'est le cas de toutes les études chez l'enfant. Dans les études plus récentes chez l'adulte, d'autres techniques ont été mises en œuvre (e.g. calcul de l'angle entre chaque nombre de la séquence et le 1, ou encore distance en pixels entre chaque nombre et le 1, Hubbard *et al.*, 2009). Le niveau de constance semble changer d'un synesthète à l'autre, et la prise de vue qu'adopte le synesthète par rapport à la disposition de ses nombres peut changer au cours du temps (Eagleman et Goodale, 2009). On s'attend donc encore une fois à ce que la différenciation entre les productions de synesthètes et de non-synesthètes ne soit pas aisée.

9.3.1 La constance des associations Forme des nombres

Rappel : Les différents niveaux permettant la catégorisation d'un enfant comme synesthète Forme des nombres

Les synesthètes potentiels au niveau visuel sont les enfants qui rangent les nombres de la même façon sur la feuille, quelle que soit la session.

Les synesthètes potentiels au niveau phénoménologique sont les enfants qui disent associer de manière automatique les nombres à des positions fixes dans l'espace.

Les enfants employant des stratégies (i.e. les enfants ordonnant les nombres en ligne droite de gauche à droite) ont été exclus du groupe des synesthètes, quel que soit le niveau considéré (visuel ou phénoménologique).

Dans cette étude, 697 enfants ont pu réaliser l'ensemble du protocole expéri-

mental. Comme la consigne obligeait tout enfant à écrire la séquence de nombres sur la feuille, qu'il soit ou non synesthète, plusieurs stratégies ont été mises en place par les enfants non synesthètes pour répondre à la tâche :

- écrire la séquence numérique en ligne dans le sens de l'écriture, comme cela leur est enseigné le plus souvent,
- écrire l'ensemble des nombres de la séquence de manière aléatoire de façon à occuper tout l'espace de la feuille de test (cf. Section 7.1.3, page 172).

Sur ces 697 enfants, seulement 22 n'utilisent pas ces stratégies dans au moins une de leurs sessions mais produisent le même type de Forme dans leurs deux sessions. Ces 3,2% d'enfants (I.C. à 95% = [2,04 ; 4,8]%) sont donc considérés comme synesthètes potentiels.

La complexité de l'organisation spatiale des nombres dans leur séquence change d'un individu à l'autre, comme le répertorie le Tableau 9.6. De manière générale, les enfants semblent utiliser le plus souvent des formes simples (disposition des nombres en colonne, en carré, ou en cercle ; Figure 9.16) que des formes plus complexes (Figures 9.17 et 9.18 ; 7/22 synesthètes potentiels Forme des nombres, soit environ 32%).

Tab. 9.6: Synthèse des différents types de Formes rencontrés dans les différents niveaux scolaires.

Niveau scolaire \ Types de formes	Colonne de haut en bas	Colonne de bas en haut	Carré	Cercle	Formes complexes
GS	3	1	0	1	0
CP	1	0	2	1	2
CE1	3	1	1	1	5
Total	7	2	3	3	7

Ils ont tendance à utiliser le sens de l'écriture pour positionner leur nombre dans l'espace, notamment lorsqu'il s'agit des séquences en cercle ou en carré. Il y a par contre davantage d'enfants écrivant les nombres de bas en haut que de haut en bas dans le cadre des colonnes.

La proportion d'enfants synesthètes potentiels Forme des nombres observée ici se rapproche particulièrement de celle observée chez des enfants entre 10 et 12

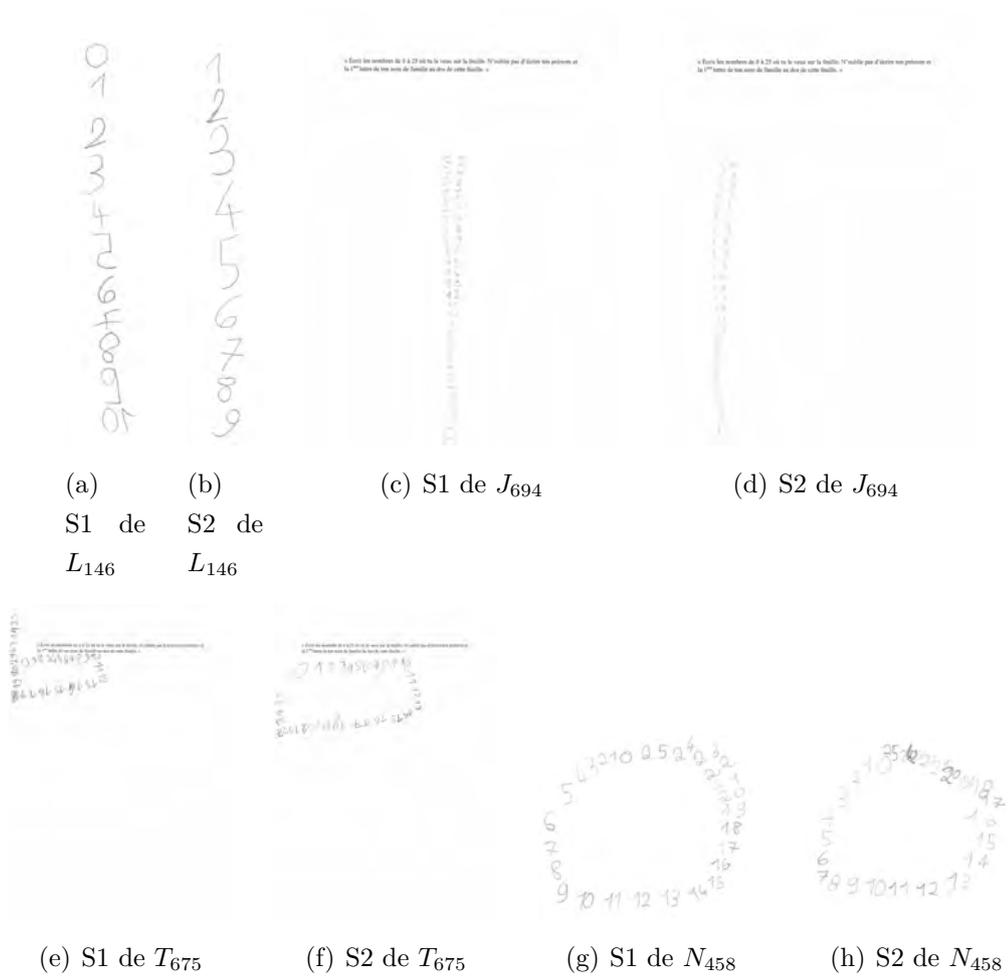
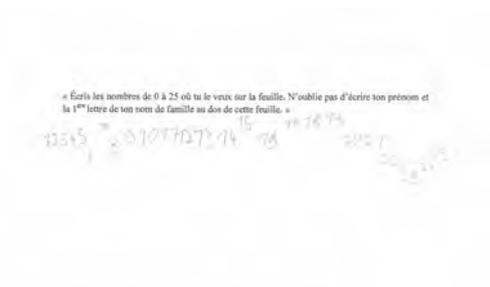
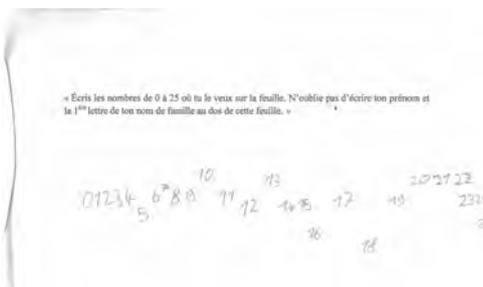


Fig. 9.16: Productions des enfants considérés comme synesthètes potentiels
Forme des nombres et dont la forme est simple : (a,b) de haut en bas,
 (c,d) de bas en haut, (e,f) en carré, et (g,h) en cercle.



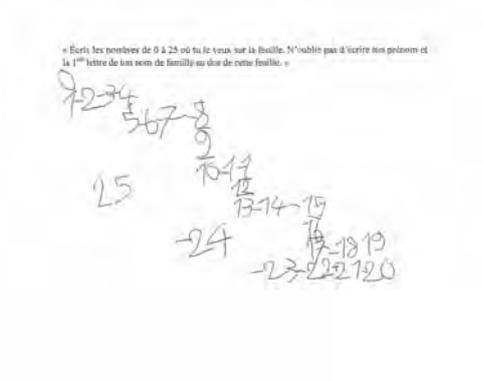
(a) S1 de B_{548}



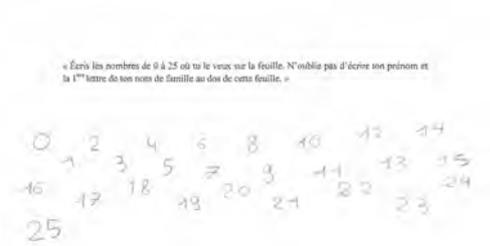
(b) S2 de B_{548}



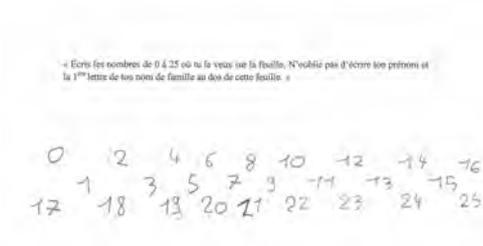
(c) S1 de E_{574}



(d) S2 de E_{574}



(e) S1 de C_{640}



(f) S2 de C_{640}



(g) S1 de L_{269}



(h) S2 de L_{269}

Fig. 9.17: Productions de quatre des sept enfants considérés comme synesthètes potentiels Forme des nombres et dont la forme est complexe.



Fig. 9.18: Productions de trois des sept enfants considérés comme synesthètes potentiels. Forme des nombres et dont la forme est complexes.

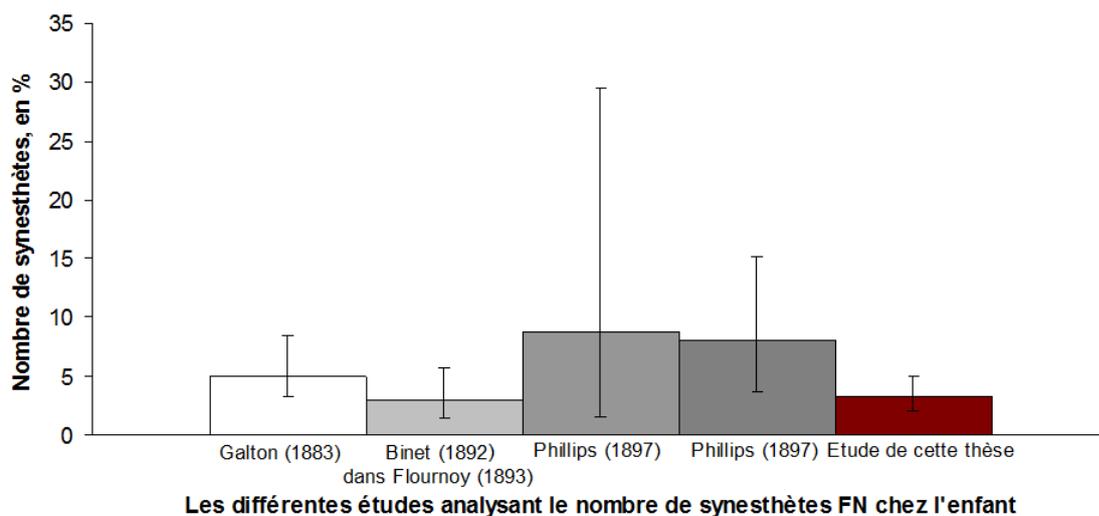


Fig. 9.19: Prévalence de la synesthésie Forme des nombres de cette étude à la lumière des résultats présents dans la littérature scientifique chez l'enfant. Les barres d'erreur représentent l'intervalle de confiance à 95% de chaque proportion.

ans par Flournoy (1893; Figure 9.19 page 239), et reste dans le même ordre de grandeur que celle de l'étude de Phillips (1897) avec des enfants entre 6 et 7 ans et de celle de Galton (1883) avec des enfants plus âgés (entre 14 et 15 ans). Le fait d'observer un taux de synesthètes potentiels aussi proches que le taux rapporté dans les autres recherches traitant de la synesthésie Forme des nombres chez l'enfant, laisse penser qu'il pourrait être valide. Il convient cependant de le vérifier par d'autres moyens, notamment du fait que toutes les études rapportées ici utilisent une méthode qualitative pour attester de la constance des associations d'un enfant.

9.3.2 Le critère phénoménologique chez l'enfant comme moyen de validation du critère de sélection des synesthètes par la constance

De manière générale, comme pour les autres formes de synesthésie, le niveau de conscience des associations est interrogé (sous forme de questionnaire) pour

attester de la synesthésie Forme des nombres d'un individu. Cette remarque est particulièrement vraie lorsqu'il s'agit d'examiner la synesthésie d'adultes. Chez l'enfant en revanche, bon nombre d'auteurs s'intéressant à la synesthésie Forme des nombres notent la difficulté d'examiner ce type de synesthésie à travers le critère phénoménologique (cf. Section 1.2.2 page 33). Nous nous attendons donc ici à avoir les mêmes difficultés que dans le cadre de nos études des synesthésies Graphème-Couleur et Graphème-Genre chez l'enfant.

Trois des 22 enfants synesthètes potentiels au niveau visuel (i.e. critère de constance) n'ont pas pu répondre aux questions. Sur les 19 synesthètes potentiels restant, sept répondent positivement à la question concernant la constance de leurs associations, soit 1,2% de l'ensemble des enfants ayant pu répondre aux questions (I.C. à 95%=[0,4; 2,2]%). D'un autre côté, 155 enfants (dont les sept synesthètes Forme des nombres potentiels) répondent associer les nombres à des positions spatiales (soit 27,5%; I.C. à 95% = [19,2; 25,6]%). Mais 101 enfants affirment ordonner constamment et automatiquement la séquence numérique en ligne droite de gauche à droite (soit 17,9% de l'ensemble des enfants; I.C. à 95% = [12; 17,3]%), ce qui représente 65,2% des enfants répondant positivement. Ce fort taux de réponses positives associées à des productions en ligne droite incite à s'interroger sur la valeur de ces témoignages, comme le font les autres études sur la synesthésie Forme des nombres présentes dans la littérature scientifique (cf. Section 1.2.2 page 33) et comme nous le faisons dans le cadre des deux autres types de synesthésie que nous traitons avec une population d'enfants.

Comme le critère phénoménologique ne permet pas de valider la méthode de sélection des synesthètes potentiels employée dans cette thèse, il convient de s'intéresser, comme nous l'avons fait dans le cadre de l'étude de la synesthésie Graphème-Couleur, à l'analyse de la cinquantaine d'enfants ayant pu passer l'ensemble du protocole expérimental une deuxième fois. En effet, si les synesthètes potentiels Forme des nombres repérés la première année de passation continuent à être considérés comme tels la seconde année, cela doit permettre de donner plus de poids aux résultats obtenus à partir de la constance seule.

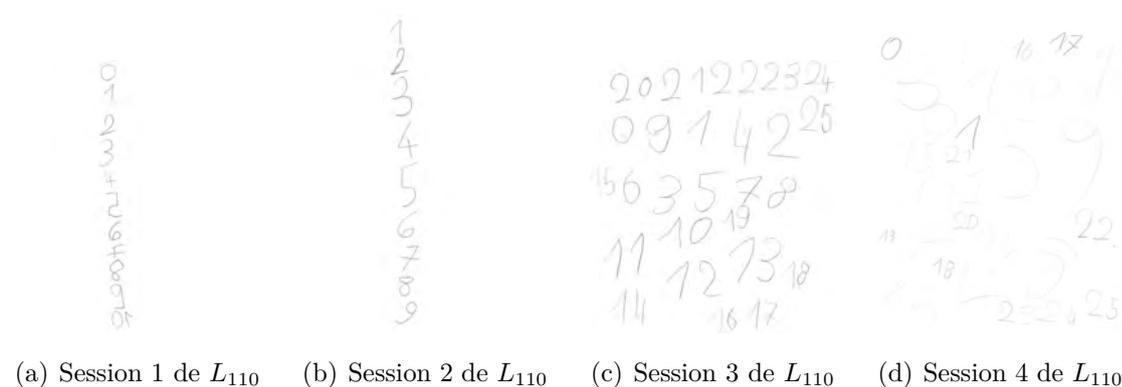


Fig. 9.20: Production d'une enfant interrogée en GS et en CP et considérée comme synesthète Forme des nombres seulement en première année.

9.3.3 Le critère de constance chez les enfants testés deux années de suite

Sur les 697 enfants compris dans l'analyse du nombre de synesthètes Forme des nombres, 53 enfants ont pu passer une seconde fois l'ensemble de la procédure expérimentale. Parmi ces 53 enfants, deux ont été considérés comme synesthètes potentiels durant la première année de passation (L_{110} et E_{328}); un était en Grande Section de Maternelle, l'autre en CP. Aucun n'est considéré comme synesthète potentiel la seconde année (Figure 9.20 et Figure 9.21). Cette observation incite à penser que notre critère de sélection est trop laxiste, permettant à des enfants d'être considérés comme potentiellement synesthètes alors qu'ils ne le sont pas.

D'un autre côté, trois enfants sont considérés comme synesthètes potentiels la seconde année. L'observation attentive de leurs associations pourrait nuancer cette remarque. Ces trois enfants étaient en GS lors de la première année de passation du test, et en CP la seconde année.

La synesthésie de L_{112} (Figure 9.22) semble se mettre en place au cours des sessions : en première session, les nombres forment des angles à certains endroits, et sont ensuite ordonnés en carré dans les deux dernières sessions. D'un autre côté, N_{184} et A_4 changent complètement la disposition de leur séquence numérique d'une année à l'autre (Figures 9.23 et 9.24). On peut aussi questionner notre critère, en

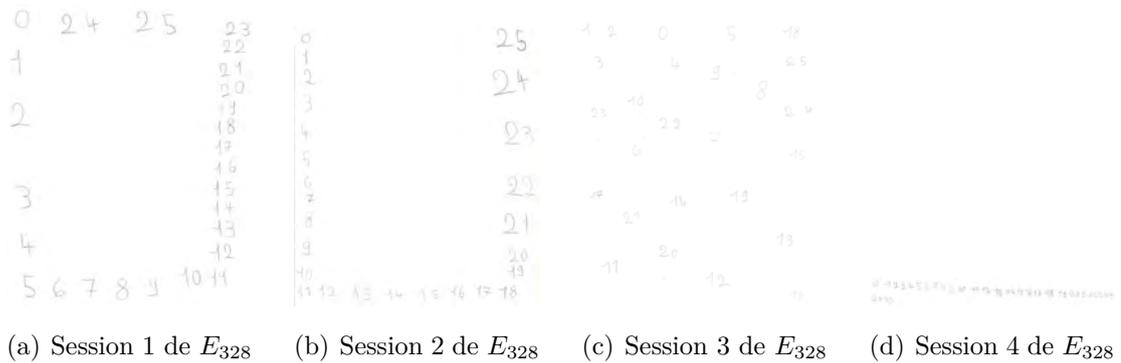


Fig. 9.21: Production d'une enfant interrogée en CP et en CE1 et considérée comme synesthète Forme des nombres seulement en première année.

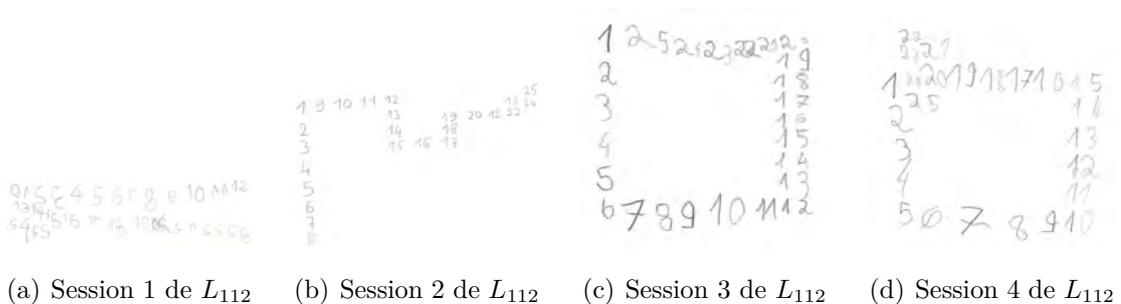


Fig. 9.22: Production d'un enfant interrogé en GS et en CP et considéré comme synesthète Forme des nombres seulement en deuxième année.

considérant que ces 2 enfants ont peut-être simplement utilisé la même stratégie lors des deux sessions de la 2^{nde} année ; N_{184} a écrit ses nombres de haut en bas, repartant en haut quand il arrive en bas de page.

L'examen des productions des 53 enfants sur deux ans ne nous permet pas de statuer sur notre critère de sélection ; ce dernier, pourtant très laxiste dans le cas de la synesthésie Forme des nombres, ne permet pas d'observer de synesthètes potentiels les deux années. D'un autre côté, cette difficulté peut aussi être liée au petit nombre d'enfants considérés comme synesthètes en 1^{re} année (un en GS et un en CP) et en 2^{nde} année (trois en CP la 2^{nde} année).

Comme dans le cadre de la synesthésie Graphème-Couleur, toutes ces remarques



Fig. 9.23: Production d'un enfant interrogé en GS et en CP et considéré comme synesthète Forme des nombres seulement en deuxième année.

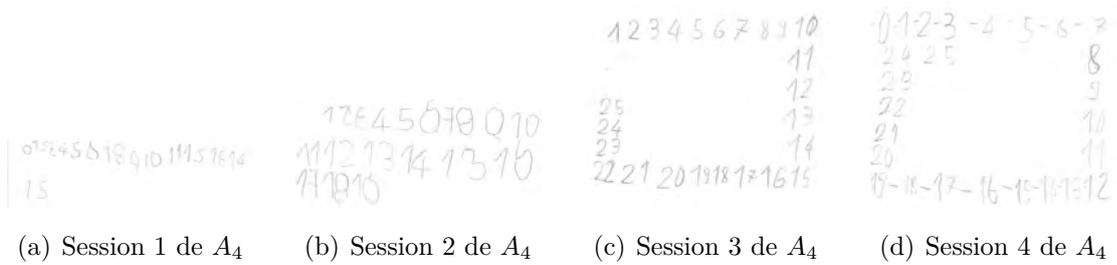


Fig. 9.24: Production d'un enfant interrogé en GS et en CP et considéré comme synesthète Forme des nombres seulement en deuxième année.

nous incitent à nous interroger sur l'existence de cette forme de synesthésie chez l'enfant entre 5 et 8 ans, ou tout au mieux, notre capacité à détecter cette particularité dans une population jeune.

Notre groupe de 22 enfants synesthètes potentiels a donc, comme dans le cadre de notre étude sur les synesthésies Graphème-Couleur et Graphème-Genre (mais pour des raisons cette fois de critère, pas de risque statistique) de fortes chances de contenir des faux positifs, mais aussi de « vrais » synesthètes (L_{112} par exemple). Contrairement aux autres formes de synesthésie, le risque de « faux-négatifs » est faible, à moins de pouvoir qualifier des formes simples (comme l'organisation de la séquence numérique en ligne de gauche à droite) comme Forme des nombres. 3,2% est donc plutôt une limite haute, ce qui suggère que la proportion d'enfants synesthètes Forme des nombres est de toute façon inférieure à celle observée chez l'adulte.

Nous garderons le groupe de 22 synesthètes potentiels (sur les 706 inclus dans l'analyse, et une fois les « stratèges » supprimés) pour une étude plus approfondie dans le chapitre suivant.



En résumé

Quel que soit la synesthésie étudiée, nous ne pouvons en aucun cas attester qu'un enfant entre 5 et 8 ans est synesthète en prenant la définition stricte employée dans les études de prévalence chez l'adulte.

Les enfants synesthètes potentiels synesthète Graphème-Genre paraissent tout de même plus convaincant si on se restreint au critère de constance et si on considère que les stratégies associatives existent mais ne soient pas aussi répandue. Le nombre de synesthètes potentiels synesthètes Graphème-Genre aurait alors déjà atteint la proportion présente dans la population adulte.

Il est aussi possible d'envisager qu'un certain nombre d'enfants soient potentiellement synesthètes Graphème-Couleur et Forme des nombres, sans avoir un nombre suffisant d'associations constantes pour être considérés comme tels, ou que les associations soient suffisamment bien fixées.

La synesthésie, développement et mécanismes cognitifs

10.1 Synesthésie et apprentissage : la synesthésie selon le niveau scolaire

10.1.1 Prévalence de la synesthésie selon le niveau scolaire

Dans le chapitre précédent, nous avons pu mettre en évidence que l'expérience synesthésique n'est pas vécue chez l'enfant de la même manière que chez l'adulte. Nous ne pouvons alors pas attester de manière certaine et définitive de la synesthésie des enfants que nous avons caractérisés comme de potentiels synesthètes principalement à partir de notre critère statistique basé sur la constance. Nous pouvons cependant penser que, si les enfants considérés comme synesthètes potentiels dans le chapitre précédent ne sont que des « faux positifs » dus à notre critère statistique, alors nous ne devrions pas observer d'évolution dans leur nombre en fonction de leur niveau scolaire. A l'inverse, l'observation d'évolutions dans le nombre de synesthètes potentiels en fonction du niveau scolaire nous permettrait de considérer les enfants synesthètes potentiels avec un peu plus de conviction, tout en nous informant sur l'âge d'acquisition des trois formes de synesthésie étudiées.

La synesthésie Graphème-Couleur

Parmi les 40 enfants considérés comme synesthètes potentiels Graphème-Couleur, sept sont en Grande Section de Maternelle (GS; $N_{GS} = 251$), dix-huit sont en Cours Préparatoire (CP; $N_{CP} = 262$), et quinze sont en 1^{re} année de Cours Élémentaire (CE1; $N_{CE1} = 192$). La proportion de synesthètes semble augmenter en fonction du niveau scolaire (Figure 10.1). Cette augmentation est cependant faible :

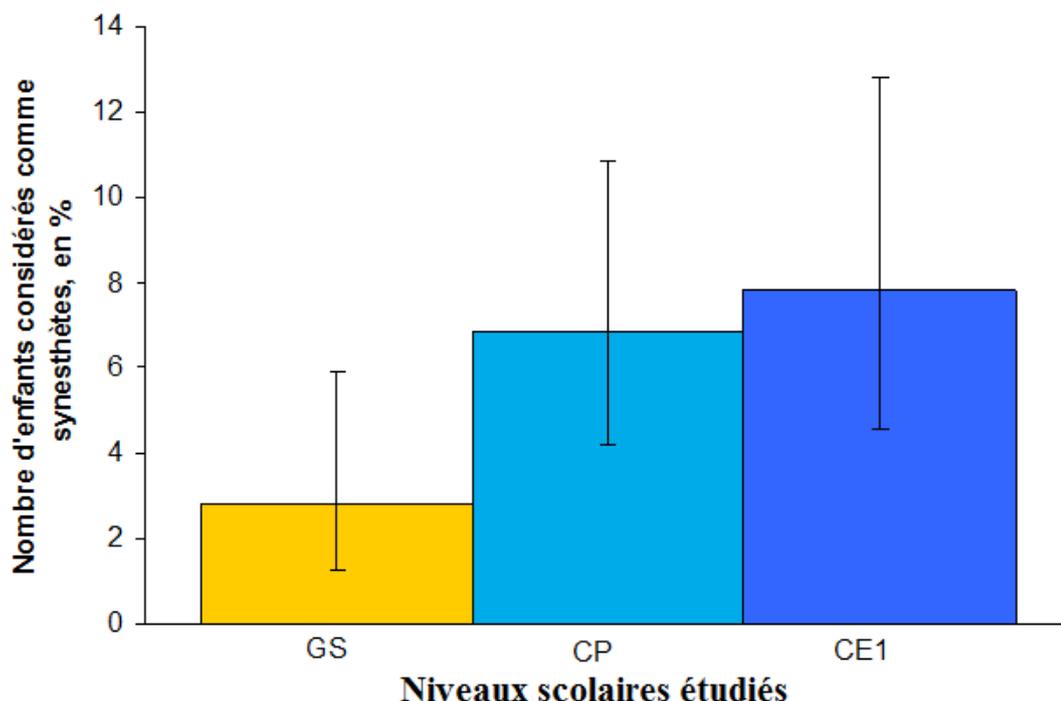


Fig. 10.1: **Prévalence de la synesthésie Graphème-Couleur selon le niveau scolaire** (i.e. GS, CP et CE1), **quelque soit l'inducteur** (i.e. les lettres, les chiffres ou les deux). Les barres d'erreur correspondent à l'intervalle de confiance à 95% de chaque proportion.

le taux d'enfants synesthètes potentiels de GS (2,8%, I.C. à 95% = [1,2; 5,9]%) paraît plus bas que celui des enfants de CE1 (7,8%; I.C. à 95% = [4,6; 12,8]%; I.C. à 95% de la différence = [0,5; 10,25]%; $Z = -2,4$, $p = 0,008$). Il faudrait interroger davantage d'enfants pour diminuer les intervalles de confiance et gagner ainsi en précision.

Cette évolution s'observe aussi parmi le groupe d'enfants considérés comme synesthètes potentiels à la fois à partir du critère de constance et du critère phénoménologique : aucun enfant n'est considéré comme synesthète potentiel en GS, contrairement à 0,8% des enfants de CP, et 2,6% des enfants de CE1.

Cette évolution s'observe également quel que soit le critère statistique individuel utilisé. Si on s'intéresse seulement aux six enfants considérés comme synesthètes potentiels avec un critère individuel strict à 0,001, un seul enfant est considéré comme synesthète potentiel en GS, deux en CP et trois en CE1.

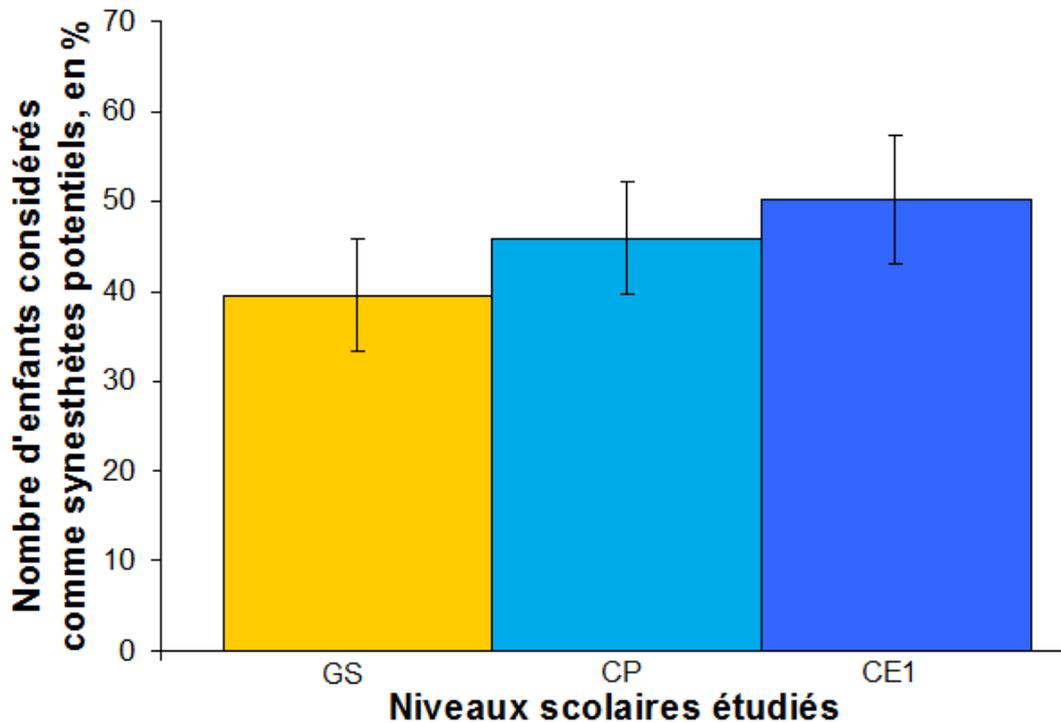


Fig. 10.2: **Prévalence de la synesthésie graphème-Genre selon le niveau scolaire** (i.e. GS, CP et CE1), **quelque soit l'inducteur** (i.e. les lettres, les chiffres ou les deux). Les barres d'erreur correspondent à l'intervalle de confiance à 95% de chaque proportion.

La synesthésie Graphème-Genre

Sur les 316 enfants considérés comme synesthètes potentiels Graphème-Genre, 99 sont en GS ($N_{GS} = 251$), 119 en CP ($N_{CP} = 260$) et 98 en CE1 ($N_{CE1} = 195$). Le nombre de synesthètes potentiels semble donc là aussi augmenter au cours de la scolarité (Figure 10.2; 39,4% en GS, 45,8% en CP et 50,3% en CE1). Cette augmentation reste cependant faible : le taux de synesthètes de GS semble plus faible que celui de CE1 (I.C. à 95% de la différence = [1, 2; 20, 2]%). Cette observation se retrouve dans les résultats des différentes analyses effectuées selon le type d'inducteur (i.e. les lettres, les chiffres ou les deux).

Dans une faible mesure, cette différence se retrouve également avec un critère statistique individuel strict (à 0,001) : 14,3% des enfants de GS sont considérés comme des synesthètes potentiels, contre 21,5% des CP et 22,6% des CE1 (I.C. à

95% de la différence entre GS et CE1 = $[0, 7; 16]%$).

Cette évolution inter-niveau ne se retrouve cependant pas lorsqu'on analyse le nombre d'enfants potentiellement synesthètes Graphème-Genre à la fois avec le critère de constance et le critère phénoménologique (10,7% des enfants de GS, avec un I.C. à 95% = $[6, 5; 16, 8]%$; 14% des enfants de CP, avec un I.C. à 95% = $[10, 1; 19]%$; 11,3% des enfants de CE1, avec un I.C. à 95% = $[6, 9; 17, 7]%$).

L'augmentation du nombre d'enfants en fonction du niveau scolaire est donc moins convaincante pour la synesthésie Graphème-Genre que pour la synesthésie Graphème-Couleur. Cependant, la présence de synesthètes Graphème-Genre chez les enfants de cette tranche d'âge était plus probable que celle de synesthètes Graphème-Couleur, et si le nombre d'enfants synesthètes Graphème-Genre est supérieur au nombre d'adultes synesthètes Graphème-Genre, il serait assez étonnant qu'il augmente beaucoup au cours de la scolarité.

La synesthésie Forme des nombres

Parmi les 22 enfants considérés dans notre étude comme étant des synesthètes potentiels Forme des nombres, cinq sont en GS (2% des enfants de cette classe d'âge; I.C. à 95% = $[0, 8; 4, 9]%$), six en CP (2,3% des enfants de cette classe d'âge; I.C. à 95% = $[1; 5, 3]%$) et 11 en CE1 (5,7% des enfants de cette classe d'âge; I.C. à 95% = $[3; 4, 8]%$). Comme dans le cadre des deux autres types de synesthésie, on note donc une tendance à l'augmentation du nombre de synesthètes avec le niveau scolaire (Figure 10.3; I.C. à 95% de la différence entre les proportions en GS et en CE1 = $[-0, 3; 8, 3]%$).

Cette tendance se retrouve aussi lorsqu'on considère comme synesthètes potentiels ceux de ces 22 enfants qui affirment aussi conserver l'organisation spatiale de leur séquence numérique dans le temps : un enfant de GS (0,6%; I.C. à 95% = $[0; 2, 6]%$) est dans ce cas là, contre deux enfants de CP (0,8%; I.C. à 95% = $[0, 1; 3, 1]%$) et quatre de CE1 (2,7%; I.C. à 95% = $[0, 7; 5, 5]%$; I.C. à 95% de la différence de proportions en GS et en CE1 = $[-1, 7; 6, 5]%$).

Pour cette synesthésie, on ne peut pas utiliser de critère statistique plus strict. En effet, les enfants synesthètes potentiels interrogés ici ordonnent leurs nombres dans l'espace selon un degré de complexité différent (comme cela a pu aussi être décrit

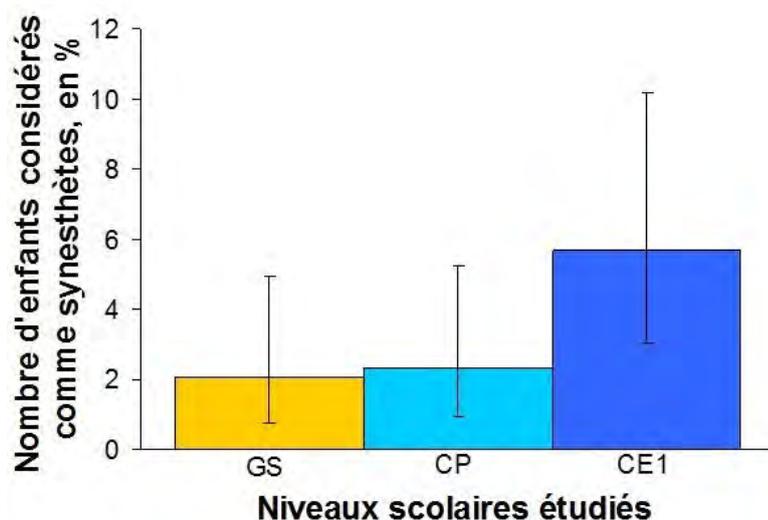


Fig. 10.3: **Prévalence de la synesthésie Forme des nombres selon le niveau scolaire** (i.e. GS, CP et CE1), **quelque soit l'inducteur** (i.e. les lettres, les chiffres ou les deux). Les barres d'erreur correspondent à l'intervalle de confiance à 95% de chaque proportion.

chez l'adulte; Flournoy, 1893; Galton, 1880; Phillips, 1897; Sagiv *et al.*, 2006; Seron *et al.*, 1992). Le Tableau 9.6 page 235 répertorie les types de formes rencontrés en fonction du niveau scolaire de l'enfant et de leur complexité (la catégorisation des types de Formes en fonction de leur degré de complexité est effectuée d'après les groupes décrits par Flournoy, 1893). Les enfants ayant positionné leur séquence de nombres en ligne, de gauche à droite, n'ont pas été considérés comme synesthètes, et ce, même s'ils ont utilisé la ligne droite dans les deux sessions ou qu'ils ont dit utiliser cette forme pour se représenter les nombres dans leur tête. Ce type de positionnement des nombres est, en effet, trop régulièrement employé par des enfants non synesthètes, notamment du fait de son utilisation standardisée dans les pays occidentaux (Hubbard *et al.*, 2009). De manière générale, les enfants semblent utiliser plus souvent des formes simples (disposition des nombres en colonne, en carré ou en cercle) que des formes complexes.

Au niveau plus particulier des différentes tranches d'âge, on note que les formes semblent se complexifier au cours du temps; les formes complexes, plutôt convaincantes, se retrouvent davantage chez les enfants plus âgés : aucun enfant de Grande

Section (GS) n'utilise une forme atypique, alors que deux enfants de cours préparatoire (CP) et cinq enfants de 1^{re} année d'école Élémentaire (CE1) le font. Les élèves de CP qui utilisent une forme complexe sont peu nombreux dans leur tranche d'âge alors que les enfants potentiellement synesthètes de CE1 semblent les utiliser autant que des formes standards (i.e. colonne, cercle ou carré).



En résumé

Dans les trois formes de synesthésie étudiées dans cette thèse (i.e. Graphème-Couleur, Graphème-Genre et Forme des nombres) on note que le nombre de synesthètes potentiels tend à augmenter en fonction du niveau scolaire (i.e. GS, CP et CE1). Cette observation nous incite à penser que parmi notre groupe de synesthètes potentiels, certains sont de « vrais » synesthètes et que la synesthésie commence à se développer dans la tranche d'âge que nous avons étudiée, ou tout au moins les formes de synesthésie Graphème-Couleur et Forme des nombres.

10.1.2 Évolution de la constance des associations

De même que nous avons analysé la proportion de synesthètes potentiels par niveau scolaire, nous pouvons interroger la proportion d'associations fixes Graphème-Couleur, Graphème-Genre et Forme des nombres des enfants des différents niveaux. Cette analyse a par ailleurs été effectuée par Simner et collaborateurs (2013; 2009a), dans le cadre de l'étude de la synesthésie Graphème-Couleur chez l'enfant. Cette analyse a deux objectifs : comme dans le chapitre précédent, le hasard ne prédit pas de différence quant à la constance des associations des enfants de différents niveaux scolaires ; si une évolution est observée, alors nos groupes de synesthètes potentiels doivent contenir de vrais synesthètes. De plus, s'il y a une évolution, cela peut être instructif concernant les liens possibles entre synesthésie et apprentissage.

La synesthésie Graphème-Couleur

D'après l'étude de Simner et collaborateurs (Simner *et al.*, 2009a), les enfants synesthètes potentiels devraient être plus constants que les non synesthètes, mais, à l'âge interrogé ici (entre 5 et 8 ans), on ne s'attend pas forcément à ce qu'ils soient plus constants que les enfants utilisant une stratégie. Notre méthode de

sélection des synesthètes potentiels (cf. Section 7.1.1, page 165) laisse cependant la possibilité de ne pas observer de différence dans la constance des associations des synesthètes et des autres enfants (stratèges et non stratèges réunis), puisque le critère de sélection est individuel (et non au niveau du groupe comme dans l'étude de référence).

En ce qui concerne plus particulièrement les synesthètes potentiels Lettre-Couleur, les 29 enfants considérés statistiquement comme tels associent en moyenne 6,45/26 lettres (25%) à une couleur similaire entre S1 et S2 ($\sigma = 1,62$; I.C.95% = [5,83; 7,06]), contre 2,41/26 lettres pour les non synesthètes ($\sigma = 2,11$; I.C.95% = [2,25; 2,57]). Comme attendu du fait de la méthode, les synesthètes potentiels Lettre-Couleur associent un plus grand nombre de lettres à une couleur, de manière similaire entre S1 et S2 ($F(675, 28) = 1,76$, $p < 0,04$; I.C.95% de la différence = [3,40; 4,67]). Le nombre d'inducteurs (i.e. ici les lettres), dont le concurrent est fixe, reste très en dessous de ce qui peut être observé chez l'adulte (Baron-Cohen, 1996; Carmichael *et al.*, 2015; Eagleman *et al.*, 2007; Ward *et al.*, 2007). Il semble être aussi inférieur d'au moins quatre lettres à la proportion observée par Simner et collaborateurs (2009a) chez les enfants de six ans (I.C.95% = [5,83; 7,06] lettres, dans notre étude, contre 11,3/26 pour les huit synesthètes Lettre-Couleur de l'étude de référence). Cette différence entre les deux études peut cependant être due au nombre restreint de synesthètes potentiels interrogés, ou à la méthode employée (i.e. test et retest séparés d'au moins quinze jours dans notre procédure; retest immédiatement après le test chez Simner et collègues).

La constance de ces associations ne paraît pas évoluer, et ce, quel que soit le groupe d'appartenance de l'enfant (i.e. synesthètes potentiels, non synesthètes ou stratèges) ou le niveau scolaire. Le pourcentage d'associations constantes ne semble subir que des variations mineures entre les niveaux scolaires inférieurs et le CE1 (I.C._{GS} à 95% = [16,61; 32,62]%, I.C._{CP} à 95% = [20,07; 28,42]% et I.C._{CE1} à 95% = [20,79; 29,56]%).

Les résultats des enfants synesthètes potentiels Lettre/Chiffre-Couleur suit la même logique, ce qui n'est pas étonnant puisque seulement deux des 18 enfants Synesthètes potentiels Lettre/Chiffre-Couleur ne sont pas compris dans l'analyse des synesthètes Lettre-Couleur. Le nombre moyen d'associations fixes entre les deux sessions reste très semblable chez les non synesthètes quel que soit le niveau sco-

laire ($I.C.GS$ à 95% = [2, 93; 3, 83] caractères alphanumériques, $I.C.CP$ à 95% = [3, 03; 3, 69] caractères alphanumériques, et $I.C.CE1$ à 95% = [3, 14; 3, 79] caractères alphanumériques). Mais il en va de même pour les synesthètes potentiels Lettre/chiffre-Couleur ($I.C.GS$ à 95% = [5, 52; 10, 48] caractères alphanumériques, avec cinq enfants, $I.C.CP$ à 95% = [6, 21; 8, 01] lettres, avec treize enfants, et $I.C.CE1$ à 95% = [6, 03; 11, 97] caractères alphanumériques, avec onze enfants).

Concernant les associations synesthésiques Chiffre-Couleur, le nombre moyen d'associations similaires entre S1 et S2 est de 0,93/10 ($\sigma = 1,45$). le nombre d'associations similaires entre les deux sessions est plus important chez les synesthètes que chez les non-synesthètes, tous niveaux scolaires confondus (synesthètes : $\mu = 3$, $\sigma = 0,63$, $I.C.95\% = [2, 57; 3, 43]$ associations constantes; non synesthètes : $\mu = 0,9$, $\sigma = 1,44$, $I.C.95\% = [0, 79; 1, 01]$ associations constantes). Dans chaque niveau séparément : le seul enfant synesthète de GS avait 3 associations similaires entre S1 et S2, les quatre enfants synesthètes de CP en ont tous 3, et les six enfants synesthètes de CE1 ont en moyenne 3,2 associations similaires entre S1 et S2 ($\sigma_{CE1} = 0,75$, $I.C.95\%_{CE1} = [2, 38; 3, 96]$ associations constantes), alors que la moyenne des associations fixes des non synesthètes varie entre 0,85 et 0,9 (sachant que la limite la plus basse des $I.C.95\%$ de ces moyennes est de 0,69 et la plus haute à 1,21, ce qui est largement en dessous de la plus basse des $I.C.95\%$ des synesthètes; $I.C.95\%$ de la différence générale entre synesthètes et non synesthètes = [1, 67; 2, 53]; $F(693, 10) = 5,66$, $p < 0,003$). Le nombre moyen d'associations synesthésiques constantes semble augmenter avec le niveau scolaire (20% d'associations constantes en GS, contre 30% en CP et 31,68% en CE1).

Lorsqu'on analyse le nombre d'associations des six enfants synesthètes Graphème-Couleur avec un niveau de chance strict (0,001) et quel que soit l'inducteur (i.e. les lettres, les chiffres ou les deux), on note une très légère tendance à l'augmentation du nombre d'associations fixes entre les sessions : l'enfant de GS en a 9, les deux enfants de CP en ont en moyenne 10 (9 et 11 respectivement), et les trois de CE1 en moyenne 11 (9, 10 et 14 respectivement).

La synesthésie Graphème-Genre

Comme attendu, quel que soit la forme de synesthésie Graphème-Genre étudiée (i.e. Lettre-Genre, Chiffre-Genre ou Lettre/Chiffre-Genre, en fonction du type d'inducteur pris en compte dans l'analyse), le nombre d'associations fixes entre les deux sessions est plus important chez le groupe des synesthètes potentiels ($\mu = 26,3$ graphèmes, $\mu = 20,2$ lettres et $\mu = 8,4$ chiffres) que pour les non synesthètes ($\mu = 16,5$ graphèmes, $\mu = 13$ lettres et $\mu = 4,2$ chiffres).

Le nombre d'associations constantes des synesthètes potentiels Graphème-Genre ne semble pas évoluer d'un niveau scolaire à l'autre (pour les chiffres : $\mu_{GS} = 8,3$, $\mu_{CP} = 8,5$, et $\mu_{CE1} = 8,4$; pour les lettres : $\mu_{GS} = 20$, $\mu_{CP} = 20,3$, et $\mu_{CE1} = 20,4$; pour les deux : $\mu_{GS} = 25,9$, $\mu_{CP} = 26,3$, et $\mu_{CE1} = 26,7$).

Lorsqu'on analyse le nombre d'associations des 137 enfants synesthètes Graphème-Genre avec un niveau de chance strict (0,001) et quel que soit l'inducteur (i.e. les lettres, les chiffres ou les deux), les nombres d'associations fixes sont très similaires : les enfants de GS en ont en moyenne 28,9, les enfants de CP en ont en moyenne 29, et les enfants de CE1 en moyenne 29,9.

La synesthésie Forme des nombres

Comme dans le cadre de la synesthésie Graphème-Couleur, les associations synesthésiques ne paraissent pas, dans la synesthésie Forme des nombres, être aussi fixes et précises que ce qui a pu être décrit précédemment chez l'adulte ou l'enfant (Peabody, 1915; Phillips, 1897; Sagiv *et al.*, 2006). Chez les enfants considérés, les nombres n'étaient pas nécessairement à la même place entre les deux sessions, dans les formes plus complexes (i.e. les carrés, cercles ou formes atypiques). Par exemple, un enfant synesthète qui organise sa séquence de nombres en carré ne va pas toujours faire son angle exactement sur les mêmes chiffres (e.g. l'organisation spatiale des nombres de T_{675} , Figure 9.16, page 236).

Au vu du nombre d'enfants synesthètes examinés et de la méthode employée, il est difficile d'aller plus loin dans l'analyse de la constance des associations entre nombres et positions spatiales.

**En résumé**

Dans les deux formes de synesthésie étudiées dans cette thèse dont on peut interroger objectivement la constance des associations (i.e. Graphème-Couleur, Graphème-Genre), les résultats sont conformes à ce qui est attendu par hasard.

Si les enfants considérés comme synesthètes potentiels s'avèrent être de vrais synesthètes, alors les enfants synesthètes auraient moins d'associations fixes (dans les synesthésies Graphème-Couleur et Graphème-Genre) que les adultes, leur nombre d'associations n'augmenterait pas dans les tranches d'âge que nous avons étudiées, et leurs associations seraient moins complexes (synesthésie Forme des nombres).

10.1.3 Régularités des associations Graphème-Couleur

Si les synesthètes potentiels ne sont pas de véritables synesthètes, nous ne devrions pas observer de régularités entre les associations des enfants synesthètes potentiels du même type, telles qu'on peut en observer entre les associations de synesthètes adultes (cf. Section 2.1.2, page 42). Observer des régularités pourraient aussi nous renseigner sur l'impact de l'environnement sur le développement du lien entre inducteur et concurrent. Pour examiner ces deux points, nous avons décortiqué les associations des synesthètes potentiels Graphème-Couleur de notre étude et nous les avons comparées aux régularités décrites dans la littérature scientifique. D'après la Figure 9.3 page 200, les associations des enfants synesthètes semblent idiosyncrasiques. Très peu de graphèmes sont associés plus de trois fois à la même couleur, d'un participant à l'autre : seuls le R, le T, et le 0 sont dans ce cas. L'analyse plus précise des associations Lettre-Couleur et Chiffre-Couleur sera effectuée séparément ci-dessous, en fonction du sous-type de synesthésie interrogé.

Régularités dans les associations synesthésiques Lettre-Couleur

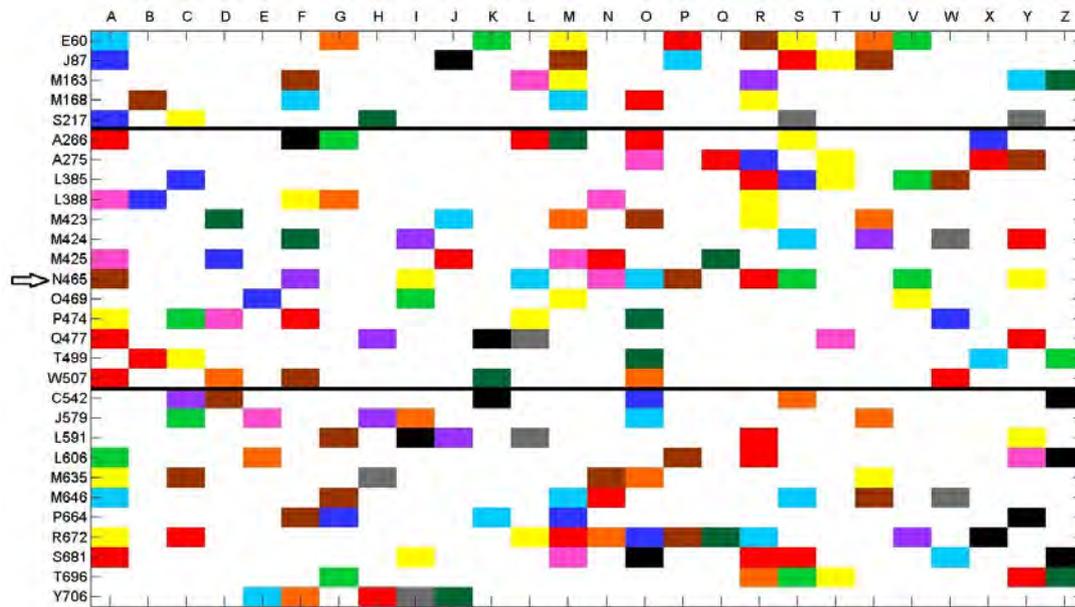


Fig. 10.4: Associations similaires entre S1 et S2 d'une couleur à une lettre (axe des X) pour chacun des enfants synesthètes (axes des Y), selon leur niveau scolaire (GS, CP ou CE1, séparés par des lignes noires). Par exemple, N_{465} a 11 associations constantes dans le temps, dont A-marron et O-bleu clair.

Il n'est pas possible de distinguer des associations particulièrement régulières (Figure 10.4) ; la synesthésie paraît aussi idiosyncrasique chez l'enfant qu'elle l'est chez l'adulte (Hupé, 2012; Simner et Bain, 2013). Les lettres A, O, R, S, F et Y sont les plus fréquemment associées à une couleur (la moitié des enfants donnent une couleur au A, et plus d'un tiers le font pour les autres lettres citées) ; B, Q, E et X sont celles qui le sont le moins (moins de quatre enfants leur ont attribué une couleur de façon similaire entre S1 et S2). On retrouve peu d'associations similaires d'un enfant à l'autre ; le P est marron pour trois enfants sur les cinq qui lui donnent une couleur de façon constante, le T est jaune dans quatre cas sur cinq, le Z noir dans trois cas sur six et vert le reste du temps (deux couleurs que les enfants de cette tranche d'âge ont le moins utilisées), le U est orange pour trois enfants et marron pour deux enfants sur sept. Comme dans la littérature scientifique traitant

des associations synesthésiques (Day, 2005; Rich *et al.*, 2005; Simner *et al.*, 2005), le A est souvent rouge (dans quatre cas sur quinze); les lettres tendent à être associées avec la couleur qu'elles initient dans le cas de deux lettres : le V est vert dans trois cas et violet dans un cas sur cinq, le R rouge dans cinq cas sur treize (mais jamais rose; cette dernière association se retrouve majoritairement chez les CE1). En revanche, le B est bleu dans seulement un cas sur trois, le G n'est jamais gris (il est pourtant associé sept fois à une couleur), le J n'est jamais jaune, le O n'est orange que dans deux cas sur quinze, le N n'est jamais noir et le M n'est marron qu'une seule fois sur douze. Contrairement aux hypothèses émises dans la littérature scientifique (Simner *et al.*, 2009a; Spector et Maurer, 2008), les formes les plus simples ne paraissent pas être associées en premier : le O est effectivement déjà fixé très fréquemment (treize des vingt-neufs synesthètes lui associent une couleur) mais ce n'est le cas que d'un seul enfant de GS sur les cinq synesthètes, et le X n'est que très rarement présent dans une association synesthésique et jamais en GS.

Avec un critère statistique strict à 0,001, les six synesthètes potentiels Lettre-Couleur semblent avoir des points communs dans leurs associations fixes. Les lettres A, O sont les plus souvent colorées (par cinq enfants sur six), suivies des lettres M, R et S (quatre enfants sur six leur attribuent une couleur). Le A est rouge pour deux enfants parmi les cinq lui attribuant une couleur, le V est soit vert (pour deux enfants sur trois) soit violet, le R est rouge dans deux cas sur quatre. Seul un enfant potentiel synesthète n'a pas associé de couleur à la lettre O, mais c'est le seul enfant de Grande Section.

Régularités dans les associations synesthésiques Chiffre-Couleur

Comme pour les lettres, les chiffres ne paraissent pas, au premier abord, suivre un modèle précis : aucun synesthète potentiel examiné n'a associé chiffres et couleurs de la même façon qu'un autre. Les chiffres 9, 0 et 2 sont les plus souvent présents dans les associations synesthésiques (six cas sur onze pour le 9, cinq cas pour les deux autres), les 8 et 7 les moins fréquemment associés (deux cas et un cas sur les onze synesthètes interrogés). Le premier et le dernier chiffre de la séquence semblent alors être les plus souvent associés à une couleur. Comme le A, première

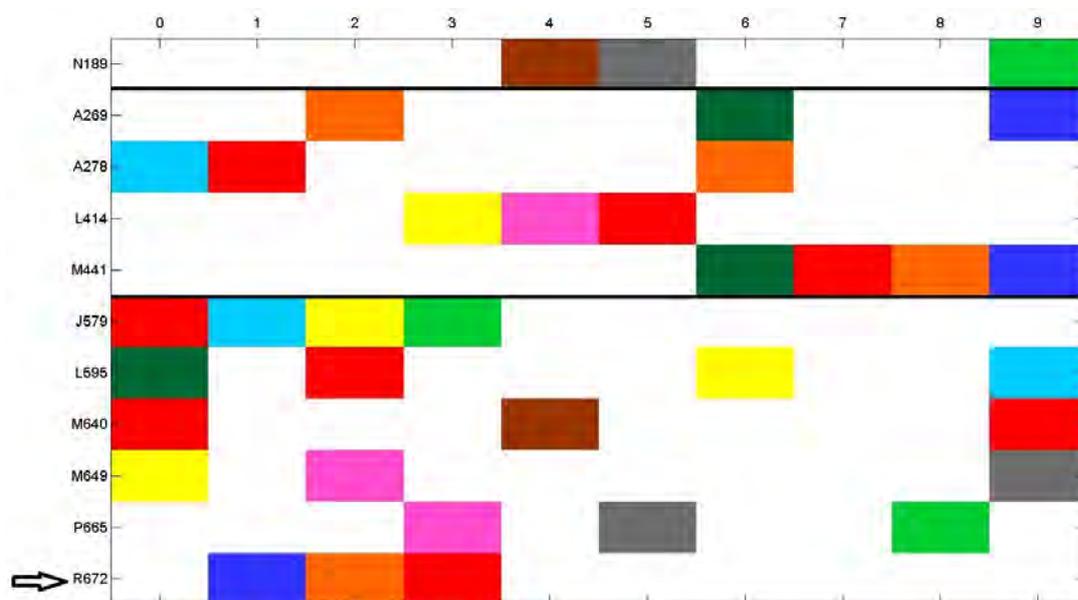


Fig. 10.5: Associations similaires entre S1 et S2 d'une couleur à un chiffre (axe des X) pour chacun des enfants synesthètes (axes des Y), selon leur niveau scolaire (GS, CP ou CE1). Par exemple, R_{672} a trois associations fixes, dont le 1-bleu foncé et le 3-rouge.

lettre de l'alphabet, le zéro a tendance ici à être plus souvent rouge (dans deux cas sur cinq), couleur la plus fréquente ; comme Flournoy (1893) et plus récemment Simner et collaborateurs (2005) en ont fait l'hypothèse, la position du graphème dans sa séquence pourrait parfois induire sa couleur synesthésique. Mais contrairement à ce qu'observe Flournoy (1893), la forme du chiffre ne paraît pas prédire sa couleur : le 1 n'est pas associé aux mêmes couleurs que le l ou le i, le 5 et le S, le 2 et le Z ou le 0 et le O non plus. De manière plus particulière, les associations présentées ici ne ressemblent pas à celles décrites par Flournoy (1893). Ici, seuls les chiffres 4 et 5 appellent un nombre important de couleurs similaires entre les individus (deux synesthètes sur trois ont associé le marron au 4 et le gris au 5). Le 6 est soit vert foncé soit jaune ou orange. Il faudrait un nombre plus important d'enfants synesthètes Chiffre-Couleur pour pouvoir tirer des conclusions concernant la présence ou non de régularité dans les associations.

Un seul des six enfants considérés comme potentiels synesthètes Graphème-Couleur avec un critère statistique strict (0,001) est synesthète potentiel Chiffre-Couleur ; nous ne pouvons pas interroger la régularité des associations à ce niveau.

En résumé, il est possible d'observer quelques régularités dans les associations Graphème-Couleur des 40 enfants synesthètes potentiels, malgré la disparité des lettres fixées et des couleurs qui leurs sont associées. Ces régularités sont suffisamment rares pour pouvoir être dues à la chance (nous n'avons pas essayé de le quantifier), mais si l'on pouvait attester que les enfants observés ici sont bien synesthètes, alors ces quelques régularités pourraient être interprétées comme suit :

- le positionnement de la lettre et du chiffre dans la séquence semble avoir un impact sur sa fixation (les premiers et derniers membres des séquences sont plus souvent colorés ; cette remarque est surtout visible pour les chiffres).
- la forme du caractère alphanumérique ne paraît pas induire la couleur des associations synesthésiques (les lettres et les chiffres fixés n'ont pas la même couleur même lorsque leur forme est proche).
- nous n'observons pas d'impact de la complexité de la forme du caractère alphanumérique sur l'ordre de fixation des associations : les lettres C et I ne font pas parties des associations les plus fréquentes de manière générale, et les lettres O et X ne sont pas majoritairement associées au noir ou au

gris et sont très minoritaires chez les enfants les plus jeunes. Seul le Z est majoritairement noir, mais seulement en CE1. Les formes les plus simples ne semblent pas être les plus précocement associées.

- Il semble y avoir majoritairement moins d'influence lexicale dans l'association d'une couleur et d'un graphème chez l'enfant que chez l'adulte (seulement deux lettres sur les six qui initient une couleur). Cette influence s'observe principalement chez les enfants les plus âgés (e.g. le R n'est jamais rouge en GS, mais l'est deux fois en CP et trois fois en CE1).

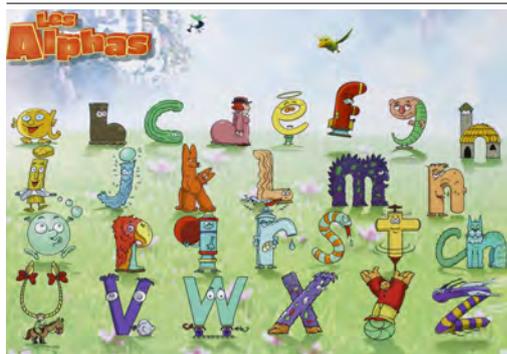
Ces deux derniers points nous incitent à penser que ce serait le concept rattaché au caractère plus que son percept qui serait associé à une couleur (cf. Section 1.1.3, page 25).

L'influence de l'environnement sur les associations synesthésiques dans les associations Lettre-Couleur

Au vu du nombre relativement réduit d'enfants synesthètes potentiels examinés et de la quantité impressionnante d'alphabets colorés différents vendus dans le commerce ou présents dans les classes, il n'est pas possible d'analyser l'impact de l'environnement sur les associations précédemment exposées, que l'inducteur soit une lettre ou un chiffre (cf. Figure 6.2, page 159). En observant avec attention les associations Lettre-Couleur effectuées par les enfants lors de l'exercice 1, deux productions ont cependant retenu notre attention (ils appartiennent à deux enfants considérés comme synesthètes potentiels Lettre-Couleur même avec un critère statistique à 0,005, et S_{681} l'est aussi avec le critère à 0,001) :

1. P_{474} semble associer ses lettres à une couleur de la même façon que les lettres de la méthode d'apprentissage de la lecture *La planète des Alphas*. Sur ses sept associations Lettre-Couleur, cinq sont exactement similaires aux associations de la méthode d'apprentissage (A, C, D, F et L), et les deux restantes en sont très proches (son O et son W sont plus foncés que ceux de *La planète des Alphas*). Lorsqu'on compare chacune des sessions séparément avec *La planète des Alphas*, d'autres similitudes apparaissent (e.g. en S1, les lettres E, G, I, J, K, R, U, Q, et d'autres associations s'en rapprochent).
2. S_{681} paraît colorer ses lettres de la même manière que le jeu diffusé par

Fisher-Price (cf. Figure 10.6(b)). Sur ses huit associations constantes entre les deux sessions, quatre sont similaires aux lettres aimantées (A, I, S et W), et même cinq, si on compte le M qui est rouge dans le jeu et que l'enfant a associé au rose.



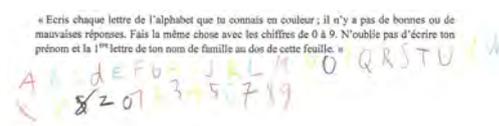
(a)



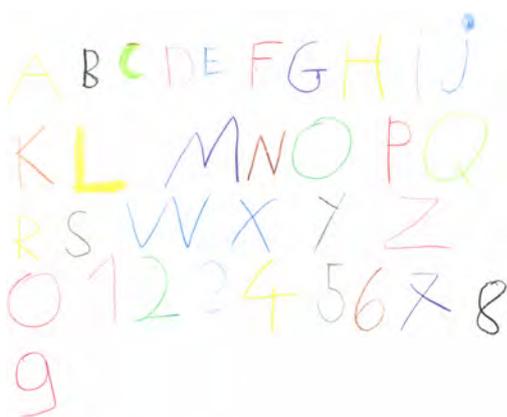
(b)



(c) Session 1 de P_{474}



(d) Session 1 de S_{681}



(e) Session 2 de P_{474}



(f) Session 2 de S_{681}

Fig. 10.6: Associations lettre-couleur présentes dans le commerce. (a) *La planète des Alphas* est une méthode éducative permettant l'apprentissage de la lecture et de l'écriture. (b) Lettres aimantées diffusées par Fisher-Price.

Ces ressemblances sont d'autant plus troublantes qu'aucun des deux modèles d'associations n'était affiché dans la classe de ces deux enfants ; ils n'ont pas pu les recopier. On peut alors raisonnablement penser que ces deux enfants sont de « vrais »

synesthètes et que, comme ont pu le constater Witthoft et collaborateurs (2006; 2013; 2015), l’environnement a dû avoir un impact sur la construction de leurs associations synesthésiques. D’autres enfants synesthètes que les deux cités ci-dessus pourraient (peut-être inconsciemment) s’appuyer sur des associations présentes dans leur environnement. La méthode d’apprentissage de la lecture *La planète des Alphas* donne certes des couleurs aux lettres mais, elle ne demande pas explicitement à l’enfant de retenir cette couleur (les lettres n’ont d’ailleurs pas toutes dans cette méthode une couleur nette; cf. Figure 10.6(a)). Le fait qu’un des enfants semble s’être inspiré de cette méthode pourrait signifier un lien entre synesthésie et apprentissages complexes comme certains auteurs en ont fait l’hypothèse (Meier et Rothen, 2009; Watson *et al.*, 2014; Witthoft *et al.*, 2015).

10.1.4 Capacité graphique des caractères alphanumériques

Afin d’étudier le lien entre apprentissage et synesthésie, les capacités graphiques des enfants synesthètes potentiels ont été étudiées à la lumière des capacités de l’ensemble du groupe en fonction de leur niveau scolaire. Nous avons donc vérifié la cohérence des critères utilisés pour considérer un caractère alphanumérique comme acquis par l’ensemble des enfants, avant d’analyser plus particulièrement ceux considérés comme synesthètes Graphème-Couleur et Forme des nombres.

Les capacités graphiques des enfants

Pour vérifier la cohérence des critères utilisés pour considérer un caractère comme « non acquis »¹, nous avons comparé les lettres et les chiffres « méconnus » de l’ensemble de notre échantillon aux résultats de la littérature scientifique spécialisée. Les capacités des enfants de l’ensemble de notre échantillon à la tâche d’écriture des nombres de 0 à 25 ont aussi été comparées à d’autres études du même domaine.

1. Nous rappelons qu’un caractère est considéré comme *non acquis* ou « méconnus » dans cette thèse lorsqu’il ne suit pas l’un des deux modèles de référence indiqués par l’éducation nationale ou qu’il a été raturé dans les deux sessions tests d’un exercice (Section 7.2, page 185).

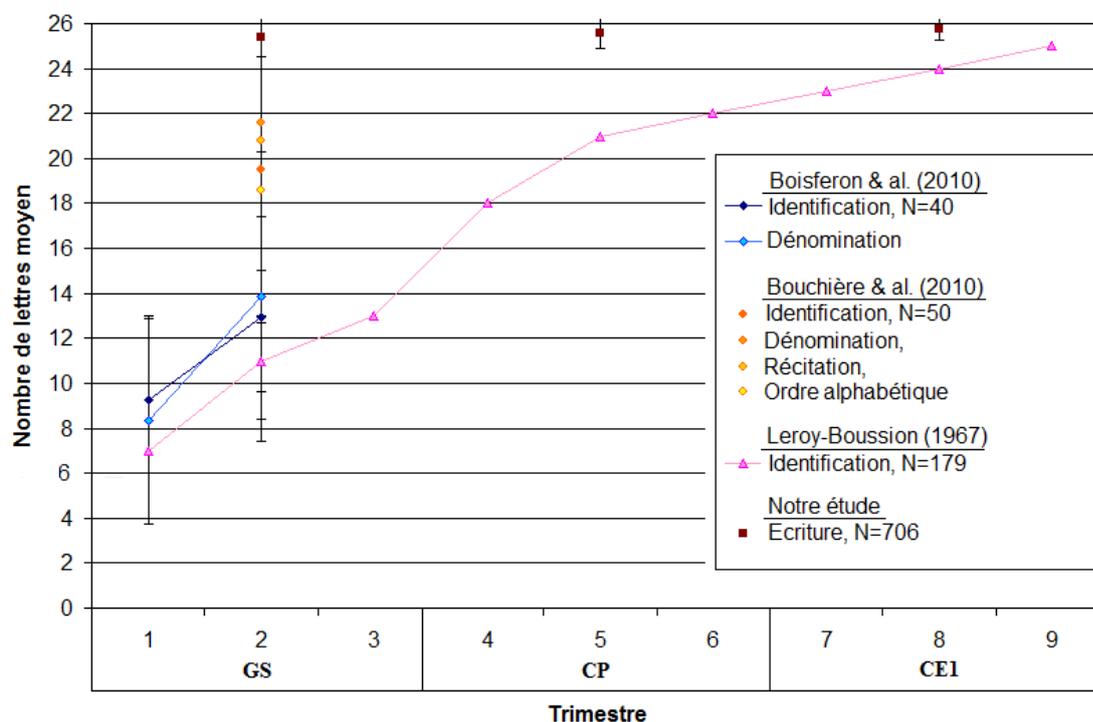


Fig. 10.7: **Résumé des différentes études analysées traitant de la connaissance des lettres.** Ce graphique permet de comparer le niveau de connaissance des lettres selon le niveau scolaire de l'enfant, et selon la tâche demandée.

L'acquisition des lettres Plusieurs travaux étudiant les connaissances des lettres, notamment comme prédicteurs des performances en lecture (cf. Section 4.1, page 109), nous ont permis de vérifier le bien fondé des critères choisis pour qualifier une lettre comme acquise ou non (Figure 10.7). Pour une même tâche, à un même niveau, on peut remarquer une grande variation interindividuelle et inter-étude. Par exemple, pour la tâche d'identification d'une lettre écrite, au deuxième trimestre de GS, Leroy-Boussion (1967) et Boisferon et collègues (2010) considèrent qu'une douzaine de lettres sont reconnues, alors que ce nombre monte à plus d'une vingtaine dans l'étude de Bouchière et collaborateurs (2010). Notre critère de sélection paraît plus laxiste et notre tâche plus facile puisque 98% de lettres sont considérées comme connues (97,59% en GS, 98,34% en CP et 99,14% en CE1). Cela est très certainement dû à la tâche utilisée : les élèves de notre étude avaient un modèle qu'ils pouvaient suivre pour écrire les lettres. Les autres études s'appuient sur des

tâches plus complexes (i.e. identification, dénomination, et récitation dans l'ordre alphabétique ou non ; cf. Section 4.1, page 109) puisqu'elles demandent de faire le lien entre le nom de la lettre et sa forme graphique. L'étude de Bouchière et collaborateurs (2010) permet d'appréhender cette hiérarchie de difficulté des tâches puisque ce sont les mêmes enfants qui ont réalisé les quatre types de tâches.

Pour vérifier que le type de lettres méconnues pour chaque niveau scolaire, dans notre étude, correspond au même type de lettres que les autres études, nous les avons répertoriées et comparées (Figure 10.8). Comme dans l'étude de Bouchière et collaborateurs (2010) :

- les scores de connaissance varient d'une lettre à l'autre, que ce soit en GS, en CP ou en CE1 (Figure 10.8).
- après examen rapide du pourcentage d'enfants qui écrivent mal les lettres, les voyelles paraissent dans l'ensemble être les lettres les mieux connues, exclusion faite du Y (le A étant ici aussi très bien maîtrisé),
- Au niveau de la *structure phonologique*, ce sont les consonnes non prototypiques, dont le nom ne correspond pas à une structure de type [*Consonne + /e/*] (e.g. B, C, ...) ou en [*/ε/ + Consonne*] (e.g. F, L, ...), qui sont les moins bien écrites.

Les résultats obtenus dans notre étude vont dans le sens des hypothèses posées par Bouchière et ses collaborateurs (2010) : dans la liste des lettres que plus de 5% des enfants ne savent pas écrire, on retrouve quatre des sept lettres non prototypiques (J, K, Q et Z ; soit 57,14%), alors qu'il n'y a qu'une seule voyelle (le Y) sur six (soit 16,67%), qu'une seule consonne de structure [*Consonne + /e/*] (i.e. le G) sur sept (soit 14,29%) et qu'une seule consonne en [*/ε/ + Consonne*] (i.e. le S) sur six (soit 16,67%).

Contrairement aux performances de l'étude de Biot (2007), certains élèves interrogés ici rencontrent plus de difficultés avec les lettres S et Z. Peut être cette différence entre les deux études est-elle due au type de tâche (orale dans le cas de l'étude de Biot-Chevrier, 2007, écrite dans la notre). Les lettres S et Z sont en effet complexes au niveau de leur graphie du fait de leur possible inversion d'orientation (cf. Section 4.1.1, page 111).

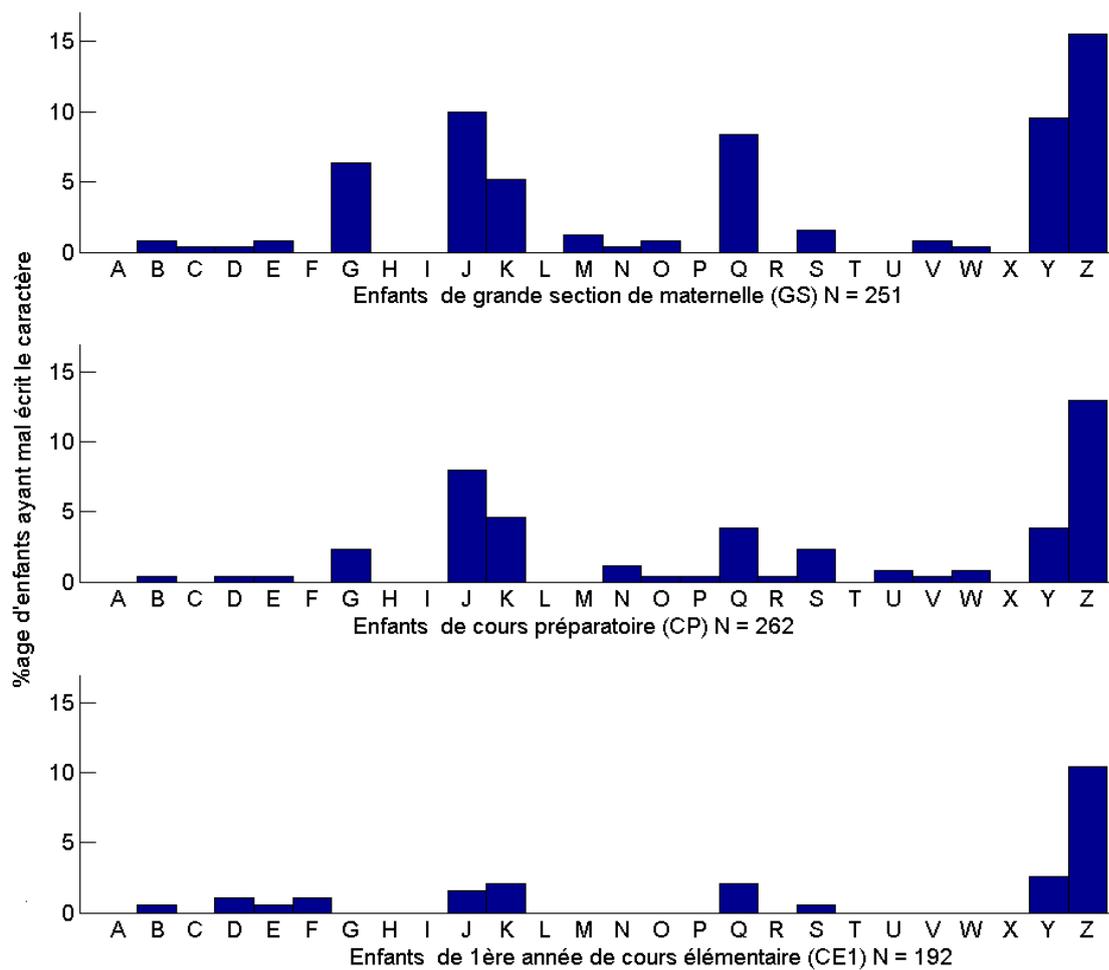


Fig. 10.8: Pourcentage d'enfants ayant mal écrit une lettre, selon le niveau scolaire (N représente le nombre d'enfants de chaque niveau scolaire; ces données sont celles de l'exercice 1). En GS, les lettres considérées comme les plus méconnues sont : G J K Q Y et Z.

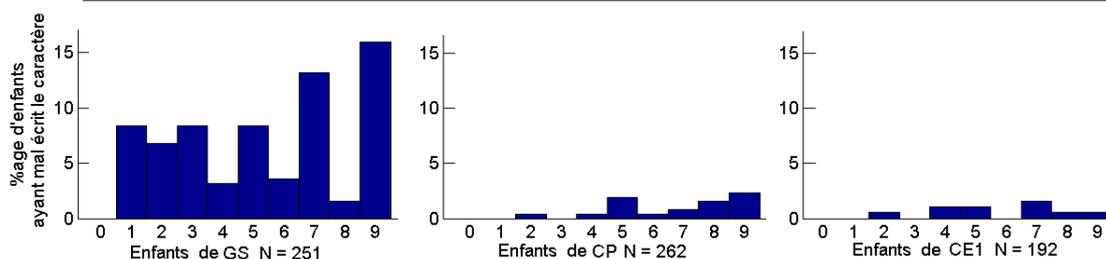


Fig. 10.9: Nombre d'enfants ayant mal écrit un chiffre, selon le niveau scolaire (N étant le nombre d'enfants retenus dans chaque tranche d'âge ; ces données proviennent de l'exercice 1).

L'acquisition des chiffres Conformément à la littérature scientifique, l'écriture indo-arabe des chiffres est une compétence plus ou moins bien acquise en fonction du niveau scolaire dans notre étude (Figure 10.9). Les enfants de Grande Section de Maternelle (GS) ont davantage de difficultés que les autres enfants ; la moitié des chiffres ne suit pas le modèle pour plus de 20% d'entre eux, alors que c'est le cas de moins de 5% des enfants de Cours Préparatoire (CP) et de Cours Élémentaire de première année (CE1). Cette observation va dans le sens de Noël (2013) qui considère, en s'appuyant sur d'autres tâches qu'une écriture de chiffres, que les enfants n'auraient pas acquis tous les chiffres avant l'âge de six ans (i.e. âge atteint par la majorité des enfants en CP). Comme le suppose Fayol (2015c), c'est bien l'*orientation* du nombre qui pose problème ; nous retrouvons les mêmes difficultés chez les enfants de GS que nous avons interrogés que pour ceux observés par Fayol (2015c) dans la même tranche d'âge : les chiffres 3, 5, 7, et 9 sont inversés chez plus de 20% d'entre eux.

L'acquisition des nombres La question de l'origine de la synesthésie peut être reliée plus spécifiquement à celle de l'acquisition des nombres dans le cadre du développement de la synesthésie Forme des nombres. En français, du fait de l'irrégularité des noms des nombres, l'apprentissage du concept de *nombre* serait particulièrement complexe (cf. Section 4.2, page 115). Conformément à la littérature scientifique (Chazoule, 2012; Fayol, 2015c; Noël, 2013), à l'exercice 3 (i.e. l'exercice portant sur la synesthésie Forme des nombres), un grand nombre d'enfants de grande section (i.e. 5 ans en moyenne) s'arrête avant d'arriver à seize (i.e.

43,32% d'entre eux en première session et 36,44% en deuxième). Les enfants plus âgés continuent l'écriture des nombres au delà de vingt (i.e. 98,83% des élèves de CP, et 97,74% des élèves de CE1), en accord avec la littérature considérant que les nombres entre 10 et 25 seraient acquis très rapidement entre 5 et 7 ans (Noël, 2013). Les difficultés rencontrées par les enfants de GS dans l'écriture des chiffres de l'exercice 1 se retrouvent dans l'exercice 3 : les chiffres 3, 5, 7 et 9 sont moins bien connus que les autres chiffres ; cette observation se généralise aux nombres comprenant ces chiffres (15, 17 et 19 sont mal écrits par plus de 5% des enfants).



En résumé

L'exercice 1 de cette thèse (concernant la synesthésie Graphème-Couleur) ne permet pas d'avoir une indication aussi précise que d'autres tâches utilisées dans la littérature scientifique (telles que la dénomination ou l'identification). Elle permet cependant de mettre en avant les lettres les plus difficiles à acquérir : les lettres dont le nom est le moins prototypique sont les moins bien retranscrites graphiquement. Ces difficultés s'estompent avec le niveau scolaire.

Au niveau des nombres, l'écriture des chiffres et des nombres (dans les exercices 1 et 3) sont de bons indicateurs des compétences des enfants. Comme le supposent les études récentes dans le domaine, les chiffres 3, 5, 7 et 9 sont les plus difficiles à retenir. L'acquisition du concept de *nombre* se ferait principalement en CP.

Les graphèmes dans la synesthésie Graphème-Couleur

Une fois notre critère d'acquisition des lettres et des chiffres testé, nous nous sommes intéressés aux lettres que les synesthètes associent systématiquement à une couleur, pour tenter de repérer un lien entre l'association d'une couleur à un graphème et la facilité d'apprentissage du graphisme de ces lettres. Si associer une couleur à une lettre aide l'enfant synesthète à la fixer en mémoire, alors les graphèmes déjà synesthésiquement colorés seront correctement dessinés. Les enfants qui associent des couleurs aux chiffres auront moins de chiffres mal écrits que les autres enfants de la même tranche d'âge. De même, les enfants présentant une synesthésie Lettre-Couleur auront moins de mal à écrire leurs lettres synesthésiques. Effectivement, rares sont les synesthètes potentiels Lettre-Couleur qui ne connaissent pas bien leurs lettres : seulement un des cinq enfants de grande section se trompe

pour le G, un pour le J, un pour le K, un pour le S, un pour le Y et un pour le Z. En CP, seulement deux lettres sont mal écrites par les synesthètes potentiels (i.e. J et Z), et encore ne s'agit-il que d'un enfant pour chaque lettre. En CE1, un enfant se trompe pour le E, un pour le J et deux pour le Z. Les lettres les moins bien écrites par les synesthètes potentiels paraissent être celles qui sont le moins souvent présentes dans les associations synesthésiques en général. Les enfants synesthètes potentiels semblent donc avoir moins de difficultés que les enfants du même âge (cf. Section 10.1.4, page 262). Dans le cas plus particulier des lettres présentes dans leurs associations synesthésiques, un élève seul de GS et un seul élève de CE1 ont des difficultés avec une lettre fixée dans une association synesthésique (le Y et le Z respectivement).

Les synesthètes potentiels Chiffre-Couleur n'ont aucune difficulté à écrire les chiffres dans leur forme arabe lorsque ces derniers sont associés à une couleur, et ce, quel que soit leur niveau scolaire. Et de manière plus générale, seuls deux des onze enfants synesthètes potentiels Chiffre-Couleur ne suivent pas le modèle (un pour le 4, et un autre pour le 5 et le 7), et ils sont tous deux en CE1. Pourtant les enfants interrogés dans cette thèse pouvaient avoir des difficultés pour les chiffres, surtout en GS (vingt d'entre eux inversaient l'orientation du 1, du 3 et du 5, trente inversaient le 7 et quarante le 9 ; cf. section précédente, page 262). S'il est confirmé par la suite que les enfants synesthètes ont moins de difficultés à écrire les lettres ou les chiffres que leurs pairs et plus particulièrement dans leurs associations synesthésiques (notamment dans l'étude de la synesthésie Forme des nombres), nous pourrions nous demander en quoi cela peut conduire à une utilisation pratique dans la pédagogie de la lecture et de l'écriture.

Les nombres dans la synesthésie Forme des nombres

Si la synesthésie sert de tuteur aux apprentissages complexes, les enfants synesthètes Forme des nombres devraient avoir moins de difficultés que les autres enfants de même niveau scolaire à écrire la forme indo-arabe des nombres.

En général, les enfants de GS, dans l'échantillon interrogé, ont des difficultés à répertorier par écrit les nombres au delà de 16, conformément à la littérature scientifique qui considère que les nombres seraient acquis entre cinq et sept ans

(les enfants de GS ayant entre 5 et 6 ans ; Noël, 2013 ; cf. Section 10.1.4, page 262). Les chiffres qui paraissent être les plus difficiles à écrire pour cette tranche d'âge sont les impairs et plus particulièrement le sept et le neuf. Ces difficultés sont retrouvées dans les nombres, puisque ceux qui présentent le plus d'erreurs sont composés des chiffres sept et neuf.

Ces difficultés sont moins retrouvées chez les synesthètes potentiels. Forme des nombres : seul un enfant synesthète potentiel sur les 22 examinés a oublié un chiffre dans l'une de ses deux sessions ; sur les 25 nombres qu'il a écrits, cet enfant de GS a oublié le 15 dans la session 1 et le 23 dans la session 2. Les 22 synesthètes s'arrêtent à 25, comme la consigne le stipule. Aucun synesthète de CP et CE1 ne fait d'erreur ou d'oubli.

Ces résultats laissent penser que la synesthésie pourrait effectivement être un guide aux apprentissages complexes comme le suggèrent les théories d'apprentissage, mais il faudrait pouvoir les répliquer avec un plus grand nombre de synesthètes pour pouvoir le confirmer. Étant donné le faible nombre d'enfants potentiellement synesthètes, en particulier en Grande Section, nous n'avons en effet pu proposer qu'une comparaison qualitative de leurs performances avec celles des enfants non-synesthètes.

10.2 La latéralité et le sexe des synesthètes

10.2.1 Le biais de genre chez les synesthètes

Comme nous l'avons vu précédemment (cf. Section 1.2.1, page 31), une fois la question de la prévalence de la synesthésie posée, la littérature scientifique s'est attachée à déterminer le lien entre le développement de cette particularité et le sexe de l'individu l'exprimant. Cette question a surtout été posée à partir de la synesthésie Graphème-Couleur.

Sur les deux études s'attachant à décrire le nombre de synesthètes dans un échantillon d'enfants (Simner, 2006 ; Simner *et al.*, 2009a), une seule a pu répertorier le ratio fille/garçon (l'étude de Simner *et al.*, 2006, n'ayant répertorié que deux enfants, tous deux de sexe masculin). Ce ratio (1 garçon pour 1,6 filles) se rapproche de ceux observés dans les études récentes chez l'adulte qui réfutent l'hypothèse

d'un biais de genre important en faveur du sexe féminin (cf. Section 1.2.1, page 31). Notre étude va dans le même sens, quelle que soit la forme de synesthésie observée.

Les ratios de filles et de garçons semblent comparables, que ce soit dans le cadre de la synesthésie Graphème-Couleur en général (1 garçon pour 1,3 filles synesthètes potentiels ; I.C. à 95% de la différence entre ces deux proportions = [-2,2 ; 5,2]%) ou dans les différents sous-types de cette synesthésie : Lettre-Couleur (1 garçon pour 2,14 filles ; I.C. à 95% de la différence entre ces deux proportions = [-0,2 ; 6,3]%), Chiffre-Couleur (1,8 garçons pour 1 fille ; I.C. à 95% de la différence entre ces deux proportions = [-1,3 ; 3,3]%) ou Lettre/Chiffre-Couleur (1 garçon pour 1,5 filles ; I.C. à 95% de la différence entre ces deux proportions = [-1,7 ; 3,8]%).

Au niveau de la synesthésie Graphème-Personnalité, 1,26 filles pour 1 garçon sont considérées comme synesthètes potentiels (I.C. 95% de la différence entre ces deux proportions = [-2,1 ; 12,9]%). On observe des ratios équivalents entre les deux sexes quel que soit l'inducteur analysé (1,04 filles pour 1 garçon lorsque l'ensemble des inducteurs est compris dans l'analyse, 1,15 filles pour 1 garçon lorsque seulement les lettres le sont, et 1 fille pour 1,10 garçons pour les chiffres).

Dans l'ensemble de l'échantillon interrogé, douze des 354 filles (3,39%) sont considérées comme synesthètes Forme des nombres au niveau visuel, contre dix des 341 garçons (2,8%). Il ne paraît donc pas y avoir de différence du nombre de synesthètes selon le genre (I.C. à 95% de la différence entre les proportions de synesthètes filles et garçons = [-2,4 ; 3,5]%).

Ces résultats confirmeraient donc que la synesthésie Graphème-Couleur ne serait pas transmise nécessairement par le chromosome X, de même que les deux autres formes de synesthésie étudiés, du moins tant que l'on considère nos synesthètes « potentiels » comme incluant une majorité de « vrais » synesthètes (en cas de détection au hasard, on ne s'attend pas non plus à de différences entre filles et garçons). Les biais de genre chez les synesthètes adultes n'ont en effet jamais été observés dans les études utilisant une méthode de recrutement systématique et non pas basée sur l'auto-déclaration (Chun et Hupé, 2013; Simner et Carmichael, 2015; Simner *et al.*, 2006b ; cf. Section 1.2.1, page 31).

10.2.2 Liens entre la synesthésie et la latéralité

Une autre hypothèse, plus secondaire, a été proposée dans la littérature : le rôle de la latéralité dans le développement de la synesthésie. Plusieurs chercheurs ont suggéré que les synesthètes seraient plus souvent des gauchers que des droitiers (Cytowic, 1995; Rich et Mattingley, 2002), mais cette hypothèse n'a pas été testée systématiquement. Les études de Baron-Cohen et collaborateurs (1996) et de Rich et collaborateurs (2005) observent cependant, dans le cadre de la synesthésie Graphème-Couleur, un taux comparable de gauchers et de droitiers, en considérant le nombre d'individus de chaque latéralité interrogés au départ.

Dans les trois types de synesthésie examinés dans cette thèse (Graphème-Couleur, Graphème-Personnalité et Forme des nombres), on observe ici aussi un taux comparable de gauchers et de droitiers. Sur les 705 enfants retenus dans l'analyse de la synesthésie Graphème-Couleur, 40 sont synesthètes dont cinq gauchers (6,94% de gauchers synesthètes contre 5,55% de droitiers ; I.C. à 95% de la différence entre ces deux proportions = $[-3, 47; 10, 73]$ %). Des 706 enfants analysés dans le cadre de la synesthésie Graphème-Personnalité, 32 des 323 synesthètes sont gauchers ; 44,44% des gauchers sont synesthètes quand les droitiers le sont à 45,89% (I.C. à 95% de la différence entre ces deux proportions = $[-11, 31; 13, 67]$ %). Concernant la synesthésie Forme des nombres, un seul enfant est considéré comme étant synesthète sur les 71 gauchers interrogés, et sur un total de 22 synesthètes : 1,41% des gauchers sont synesthètes Forme des nombres, contre 3,4% des droitiers (I.C. de la différence à 95% = $[-5, 39; 4, 21]$ %). Les taux de synesthètes gauchers et droitiers sont donc comparables (comme dans les études de Rich *et al.*, 2005 et de Baron-Cohen *et al.*, 1996).

Étude des non synesthètes

L'absence de consensus concernant le système neurophysiologique à la base des expériences synesthésiques (Hupé *et al.*, 2012; Hupé et Dojat, 2015), ne permet pas, pour l'heure, de comprendre les mécanismes cognitifs en cause. Pour remédier à ce problème, cette question a pu être posée sous un autre angle (cf. sections 3.2, page 86 et 3.3.3, page 107) : quelles distinctions ou similitudes y a-t-il entre les associations effectuées sous la demande par les non synesthètes et les associations synesthésiques ? Existe-t-il un mécanisme commun entre ces deux formes d'associations ? Pour tester l'hypothèse d'un mécanisme commun entre synesthète et non synesthète qui tirerait son origine d'associations universelles présentes dans l'enfance ("Synesthetes as cognitive fossils", Watson *et al.*, 2014 ; cf. hypothèses détaillées en Section 5.3, page 149), nous avons testé les mécanismes sous-jacents aux associations lettres-couleurs des enfants non synesthètes. Pour s'assurer que les différences avec les résultats présents dans la littérature (Simner *et al.*, 2005) que nous pourrions constater ne sont pas dues à des divergences linguistiques ou culturelles, une étude contrôle a été effectuée avec des adultes non synesthètes français.

11.1 Régularités associatives entre les lettres ou les chiffres et les couleurs

Le but de cette étude est d'observer les régularités qui peuvent exister dans les réponses des enfants non synesthètes lorsqu'on leur demande explicitement d'associer une couleur à un graphème, à la lumière des études effectuées chez les adultes synesthètes et non synesthètes (Day, 2005; Flournoy, 1893), et plus particulièrement l'étude de Simner et collaborateurs (2005) afin de tester l'hypothèse considérant les associations synesthésiques comme des traces fossilisées de

mécanismes associatifs universels présents chez l'enfant (Watson *et al.*, 2014; cf. hypothèses, Section 5.3, page 149). L'étude des adultes non synesthètes français permettra d'analyser la part de la langue maternelle.

Pour cette étude, les analyses sont concentrées ici exclusivement sur les résultats des premières sessions des procédures expérimentales effectuées chez les enfants et les adultes non synesthètes, la deuxième session permettant principalement de déceler les synesthètes. L'ensemble des analyses a par ailleurs été effectué sur la deuxième session des enfants et des adultes à titre de vérification, et les résultats restent comparables à ceux obtenus lors de l'analyse de la session 1.

11.1.1 La fréquence d'utilisation des différentes couleurs

Battig et Montague (1969) supposent que, lorsqu'on demande à un grand nombre de personnes de produire une série de noms de couleurs, certains tendent à être générés plus précocement et plus souvent que d'autres (e.g. le rouge est plus souvent rapporté que le violet). Cette étude fournit un index d'exemplaires typiques utilisé dans différentes recherches et notamment dans l'étude centrale traitant des associations Lettre-Couleur chez les synesthètes et non synesthètes (Simner *et al.*, 2005). L'étude de l'ordre de préférence du choix des couleurs, pour l'ensemble des graphèmes (i.e. les lettres et les chiffres), par les différents groupes d'individus interrogés permettra d'avoir une première information générale concernant l'influence sur les associations de la facilité à générer les couleurs. Si cet ordre est universel, comme l'affirment ses auteurs, le choix des couleurs présentes dans l'ensemble des associations (tous graphèmes confondus) effectuées par les participants non synesthètes adultes français devrait suivre le même ordre que l'index de Battig et Montague (1969), comme c'est le cas pour les non synesthètes anglophones adultes.

Les couleurs ont été ordonnées, pour chaque groupe, en fonction de la fréquence de leur utilisation dans l'ensemble, indépendamment des lettres ou des chiffres auxquelles elles sont associées (cf. Tableau 11.1). Lorsque la couleur existait sous deux nuances dans notre étude (i.e. le bleu clair, bleu foncé et vert clair, vert foncé), leurs fréquences d'utilisation ont été moyennées pour pouvoir être comparées à l'ordre de Battig et Montague (1969) (et plus généralement aux autres études Berlin et

Kay, 1969; Simner *et al.*, 2005).

Tab. 11.1: Rang des dix noms de couleurs en fonction de la facilité à les générer spontanément (Battig et Montague, 1969), ou de leur fréquence d'utilisation dans les différents échantillons.

	(Battig et Montague, 1969)	Adultes	tous	Enfants		
				GS	CP	CE1
bleu	1	3	3	3	2	3
rouge	2	1	1	1	1	1
vert	3	6	6	10	10	10
jaune	4	2	4	6	3	4
orange	5	4	5	4	5	5
noir	6	7	10	9	9	9
violet	7	5	9	8	8	8
rose	8	10	2	2	4	2
marron	9	9	7	5	6	7
gris	10	8	8	7	7	6

Comme pour les adultes non synesthètes anglophones de l'étude de Simner et collaborateurs (2005), il existe une corrélation¹ entre les couleurs les plus fréquemment employées dans l'étude par les adultes non synesthètes francophones et l'ordre donné par l'étude de Battig et Montague (1969; $\rho = .8061, p = .0082, C.I.95\% = [0,36; 0,95]$). Les couleurs les plus fréquemment employées sont celles qui sont les plus faciles et rapides à générer spontanément. Ce résultat est en faveur de l'hypothèse de Battig et Montague (1969) qui considèrent leur index comme universel, ou au moins suggère-t-il que cet index n'est pas influencé par la langue, puisque, comme les Écossais, les Français y sont sensibles. Au contraire, et comme pour les adultes synesthètes anglophones, il ne paraît pas y avoir de telles corrélations dans les réponses des enfants non synesthètes français, et ce, quel que soit leur niveau (tous les $\rho < .5273, p > .1228$). Les enfants non synesthètes, comme les adultes synesthètes, ne semblent pas produire de manière générale d'associations Graphème-Couleur en se basant simplement sur la spontanéité; leurs couleurs préférées paraissent différer des couleurs considérées comme prototypiques dans la littérature (Battig et Montague, 1969). Il est donc possible qu'existe bien un lien entre la façon dont les enfants non synesthètes et les adultes

1. Dans ce chapitre, les corrélations seront calculées grâce à un test de Spearman sur les rangs. Le rho de Spearman est représenté par ρ . les intervalles de confiance sont calculés à partir du site <http://vassarstats.net/index.html> de Lowry (2015).

synesthètes associent les couleurs aux lettres et aux chiffres. L'absence de corrélation observée à la fois chez les synesthètes adultes et les non-synesthètes enfants constitue cependant un argument bien faible ; nous allons donc analyser plus en détail les choix des correspondances effectuées.

11.1.2 Les associations préférentielles Lettre/Chiffres-Couleurs

Les associations Graphème-Couleur produites par les participants ont été examinées en estimant la probabilité qu'une telle association soit accomplie par hasard. Ce niveau de hasard est ici la probabilité d'utilisation d'une couleur par les différents groupes (i.e. les enfants de GS, de CP ou de CE1, les enfants dans leur ensemble, ou les adultes contrôles) indépendamment du graphème associé. Cette probabilité a servi de référence au calcul des probabilités binomiales qu'une couleur particulière soit associée à un graphème spécifique au-delà de ce qui est prévu par la chance² (Simner *et al.*, 2005; Ward et Simner, 2003). Par exemple, 494 des 504 enfants ont associé une couleur à la lettre A, et dans 84 cas cette couleur était le rose. La couleur rose apparaissant dans 9,87% des réponses données par l'ensemble des enfants, le nombre de A rose devrait être de 48 réponses ($9,87/100 * 494$). C'est 21 réponses de moins que la limite inférieure de l'intervalle de confiance à 95% du nombre de A rose observée ($84/494 = .17$; $p < .0001$; I.C.95% = [13, 95; 20, 56]% ou = [21; 102]réponses) : le résultat observé est donc supérieur d'au moins 4% à ce qui est attendu par hasard. La Figure 11.1 illustre par un exemple les différences de fréquences de distribution des diverses couleurs associées à la lettre A en fonction du groupe interrogé. De manière générale, les individus associent plus souvent le A à la couleur rouge.

2. La formule utilisée est : $1 - \left(\sum_{k=0}^k \frac{n_i!}{k_{ij}!(n_i - k_{ij})!} - (p_j^k)(1 - p_j)^{n_i - k_{ij}} \right)$ où n_i correspond au nombre de fois qu'un graphème i est utilisé de manière générale, k_{ij} au nombre de fois que le graphème i est associé à la couleur j , p_j à la probabilité que la couleur j soit choisie, indépendamment du graphème i (Simner *et al.*, 2005; Ward et Simner, 2003). Dans le logiciel Matlab, les analyses ont été effectuées à l'aide de la fonction *binocdf* qui se base sur cette même formule.

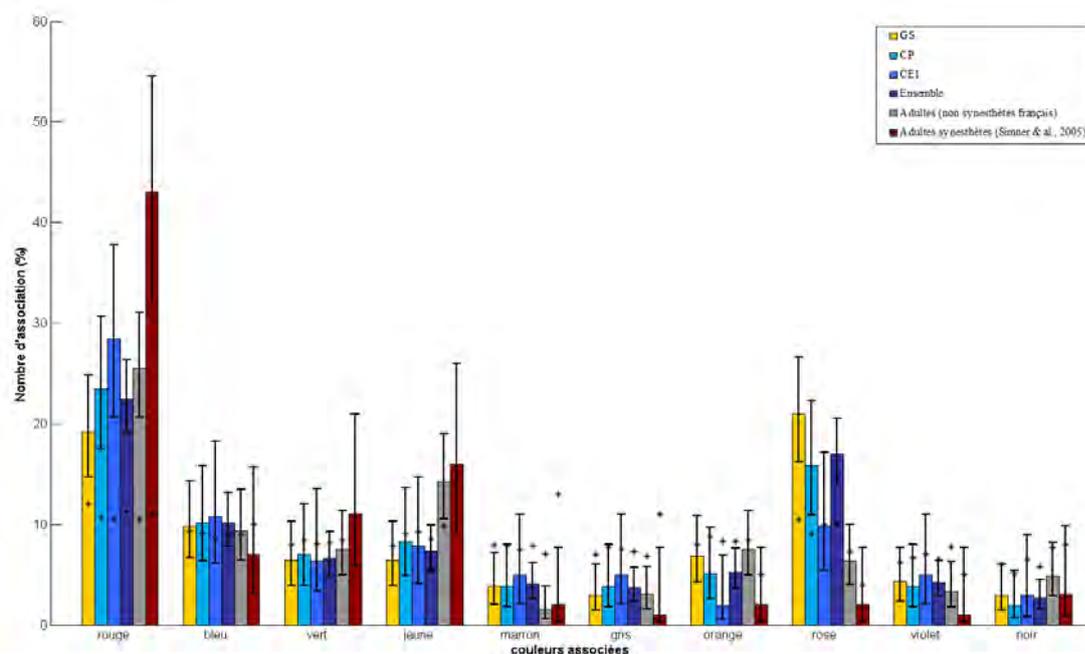


Fig. 11.1: Distribution des fréquences des différentes couleurs associées à la lettre A selon le groupe de participants, d'après les probabilités binomiales. « Ensemble » regroupe tous les enfants, quel que soit leur niveau. Les étoiles marquent la fréquence d'utilisation de la couleur par le groupe, indépendamment du graphème. Les barres d'erreur correspondent aux intervalles de confiance à 95%.

Appliquer ce calcul à toutes les autres associations lettre/chiffre-couleur a permis de mettre en avant un certain nombre de paires considérées comme plus présentes que les autres, sur la base d'un seuil à 5% (notamment pour permettre, dans un premier temps, la comparaison avec l'étude de Simner et collègues, 2005). La Figure 11.2 détaille l'ensemble des associations supérieures et inférieures à ce que permet le hasard, au seuil de 5%. Le nombre d'associations change d'un niveau scolaire à l'autre ; seul A est retrouvé à travers les différents niveaux scolaires. Peu d'associations restent stables ; si on considère seulement les associations lettre-couleur supérieures à ce qui est prédit par le hasard, en plus du A, deux paires sont similaires entre GS et CP (i.e. A et B) et deux entre CP et CE1 (i.e. K et G). Or, nos résultats statistiques ne prennent pas en compte les comparaisons multiples, laissant la possibilité que certaines associations soient seulement par chance

inférieures de moins de 5% de ce que permet le hasard, mais aussi d'en être supérieures (cf. Figure 11.2). Seules les associations A-rose et A-rouge semblent alors véritablement différentes du hasard.

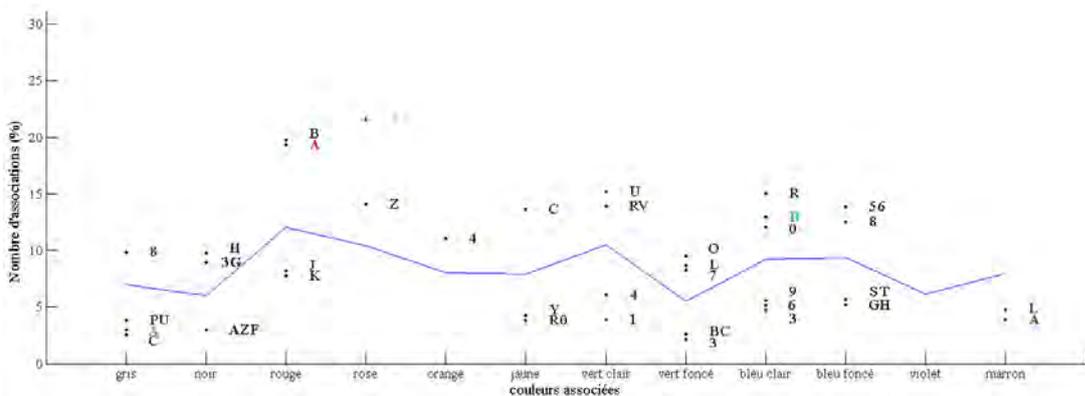
Très peu d'associations chiffre-couleur sont plus régulièrement associées que ce que prédit le hasard (i.e. $N_{GS} = 8$, $N_{CP} = 2$, $N_{CE1} = 4$, et $N_{TN} = 6$, TN signifiant *tous niveaux scolaires confondus*; cf. Figure 11.2); aucune n'est similaire entre les différents niveaux scolaires. Ce manque de régularité dans les associations chiffre-couleur ne permet pas d'envisager une analyse plus poussée des mécanismes qui régissent ces associations.

Rappel de l'étude de Simner et collaborateurs (2005)

- Les 70 synesthètes ont produit 48 associations Lettre-Couleur supérieures à ce qui est attendu par hasard à un seuil de 5% : L Q U X Y, I O T X Z, A J M R S, C P Q, F J W, C E H S Y, E F G H R, B D P T W, J Q V, B D F G M N et I O U.
- Les 62 contrôles non synesthètes à choix forcé ont produit 33 associations Lettre-Couleur supérieures à ce qui est attendu par hasard à un seuil de 5% : E X, H U X Z, A R, P, C O, C L S Y, D F G, B I, F M P V, D R T et I N W Z.

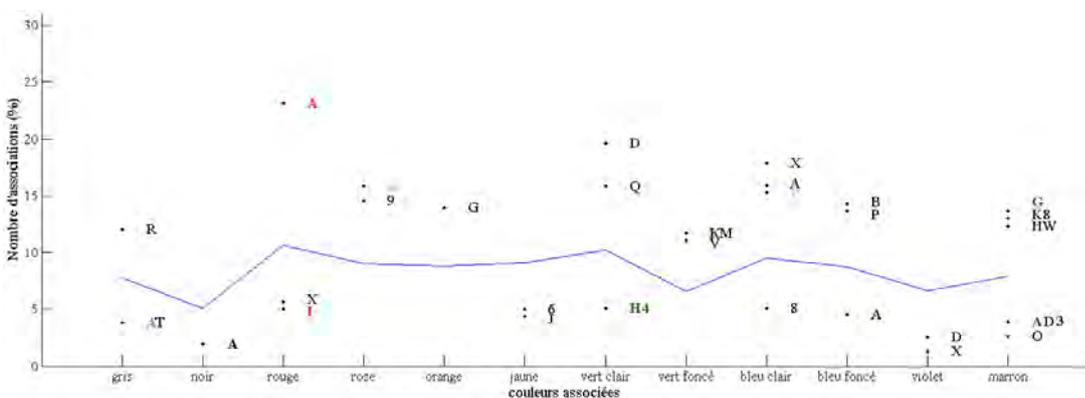
Dans cette étude, les associations inférieures à ce qui est attendu par hasard au seuil de 5% n'ont pas été répertoriées, de même que les associations chiffre-couleur en général.

Le nombre d'associations similaires entre enfants non-synesthètes (notre étude) et adultes synesthètes (Simner *et al.*, 2005) varie en fonction du niveau scolaire des enfants; les GS partagent quatre associations Lettre-Couleur avec les adultes synesthètes, les CP en partagent cinq et les CE1 quatre (cf. Figure 11.2 et Boîte à outils 11.1.2). L'existence d'associations similaires entre les enfants non synesthètes et les synesthètes adultes pourrait indiquer un mécanisme associatif commun entre enfants non synesthètes et synesthètes adultes, si elle n'était pas accompagnée d'associations opposées (i.e. les associations Lettre-Couleur supérieures au hasard dans l'étude de référence et qui en sont au contraire inférieures dans l'étude des enfants non synesthètes; Figure 11.2). En rassemblant les enfants en un seul groupe, on retrouve cinq associations similaires et trois opposées à celles des synesthètes. Les résultats sont tout aussi mitigés en comparant chaque niveau scolaire et les adultes non synesthètes français contrôles (quatre associations similaires contre quatre op-



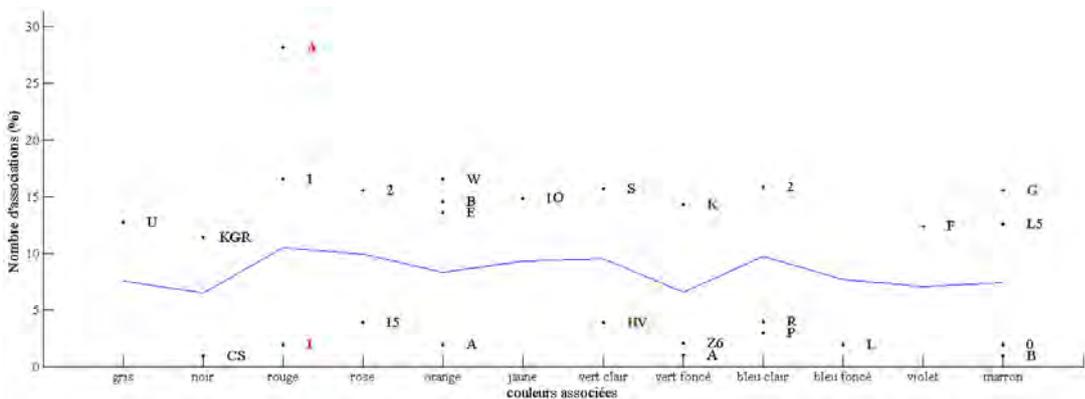
4 associations
Lettre-
Couleur
similaires ; 5
opposées.

(a) Associations Lettre-Couleur des GS



5 associations
similaires ; 2
opposées.

(b) Associations Lettre-Couleur des CP



4 associations
similaires ; 3
opposées.

(c) Associations Lettre-Couleur des CE1

Fig. 11.2: Associations Lettre-Couleur des enfants de GS (a), CP (b) et CE1 (c) à un seuil de 5%. La ligne bleue représente la probabilité qu'une couleur soit choisie au hasard, en fonction de sa fréquence d'apparition d'utilisation par l'ensemble des individus d'un échantillon. Les lettres en couleur marquent les associations qui se retrouvent dans au moins deux des trois niveaux scolaires, par exemple le A est une association fortement présente en GS et en CP, le A l'est aux trois niveaux. La colonne de droite répertorie les oppositions et similarités entre les associations de chaque niveau scolaire et celles effectuées par les 70 synesthètes de l'étude de Simner et collègues (2005). Le concept d'oppositions fait ici référence aux associations supérieures au hasard dans l'étude de Simner et collaborateurs (2005) qui sont au contraire inférieures au hasard dans notre étude (i.e. avec les enfants non-synesthètes).

posées avec les GS, neuf similaires contre deux opposées avec les CP et six similaires contre deux opposées avec les CE1), ou les associations des enfants de niveaux scolaires différents. Ces observations ont été vérifiées de façon statistique en comparant le nombre d'associations similaires entre deux groupes avec ce qui est attendu par hasard (en permutant les associations de chaque groupe et en les comparant) ; les enfants des différents niveaux scolaires ne paraissent pas produire d'associations similaires (I.C.95% des proportions d'associations similaires entre deux niveaux scolaires : $I.C.95\%_{GS-CP} = [-25, 21; 51, 18]\%$, $I.C.95\%_{GS-CE1} = [-19, 92; 48, 63]\%$ et $I.C.95\%_{CP-CE1} = [-13, 66; 43, 85]\%$, soit $I.C.95\%_{GS-CP} = [-3; 7]$ réponses, $I.C.95\%_{GS-CE1} = [-3; 7]$ réponses et $I.C.95\%_{CP-CE1} = [-2; 6]$ réponses). En effet, d'après les I.C. à 95%, pour considérer que le nombre d'associations similaires observées entre deux niveaux soient supérieur à ce qu'on attend par hasard, il faudrait qu'on observe plus de huit associations communes entre GS et CP et entre GS et CE1, et plus de sept entre CP et CE1 ; or on observe trois paires communes aux enfants de GS et de CP, et aux enfants de CP et de CE1, et seulement deux sont similaires entre GS et CE1. Les adultes non synesthètes français paraissent quant à eux avoir plusieurs associations en commun avec les adultes synesthètes et non synesthètes anglais (douze associations similaires aux non synesthètes, contre zéro opposée, et quatorze associations similaires aux synesthètes, contre deux opposées), deux groupes qui avaient déjà entre eux un nombre important d'associations communes (seize associations similaires ; Simner *et al.*, 2005).

L'absence d'associations similaires entre les différents groupes, que ce soit les groupes de niveaux scolaires divers ou entre enfants non synesthètes et adultes synesthètes et non synesthètes, ne signifie pas forcément pour autant l'absence de mécanismes sous-jacents.

11.2 Mécanismes d'association Lettre-Couleur

Dans cette partie, comme dans l'article de Simner et collègues (2005), nous étudions les schémas associatifs Lettre-Couleur qui peuvent exister dans les réponses des différents groupes d'enfants (i.e. GS, CP, CE1). Plusieurs facteurs sont interrogés, qu'ils soient méthodologiques, cognitifs ou lexicaux. Pour s'assurer que les différences rencontrées avec l'étude de référence ne sont pas dues à des questions

langagières, les paires des adultes non synesthètes français serviront de contrôle.

11.2.1 Ordre méthodologique et facilité d'élaboration spontanée

S'il existe un schéma associatif commun entre les réponses des adultes synesthètes et celles des enfants non synesthètes, comme Watson et collaborateurs en font l'hypothèse (Watson *et al.*, 2014), ou même, plus généralement, avec celles des non synesthètes adultes (hypothèse d'un continuum entre les associations cross-modales et synesthésiques, cf. section 3.3.3, page 107), alors des mécanismes sous-jacents communs devraient apparaître dans l'analyse plus détaillée des associations Lettre-Couleur. Simner *et al.*, 2005 montrent que :

1. les adultes synesthètes anglophones associent :
 - les lettres les plus fréquentes avec les couleurs les plus fréquentes,
 - les lettres les plus fréquentes avec les premières couleurs apprises (Berlin et Kay, 1969).
2. les adultes non synesthètes anglophones relient :
 - les premières lettres de l'alphabet ou les premières lettres interrogées aux couleurs les plus faciles à générer en mémoire et les plus prototypiques (Battig et Montague, 1969).

Pour pouvoir étudier et comparer les diverses influences subies par les associations des enfants à celles subies par les adultes (synesthètes anglophones et non synesthètes français), les noms de couleurs et les lettres de l'alphabet ont été ordonnées différemment en fonction des mêmes facteurs que ceux énumérés ci-dessus. Les couleurs sont alors classées :

- selon la facilité avec laquelle elles sont générées en mémoire (ordre de Battig et Montague, 1969 ; e.g. le rouge est en deuxième, c'est la deuxième couleur la plus prototypique et la plus rapidement et facilement générée en mémoire),
- par l'ordre dans lequel elles sont entrées dans la langue (ordre de Berlin et Kay, 1969 ; e.g. d'après cet index, le blanc et le noir sont entrés en premier dans chaque langue et sont de la même façon appris en premier par l'enfant),
- selon les préférences du groupe étudié (i.e. la fréquence d'apparition de la

couleur dans l'étude, indépendamment du graphème auquel la couleur est associée), et

- en fonction de leur fréquence d'apparition dans la langue du groupe interrogé (i.e. français ou anglais ; les bases MANULEX³ et Lexique⁴ ont ici été utilisées).

De même, les lettres de l'alphabet sont ordonnées différemment en fonction du mécanisme interrogé :

- l'ordre alphabétique,
- l'ordre alphabétique en séparant voyelles et consonnes,
- la fréquence d'utilisation des lettres selon la langue (la base de données Lexique est utilisée pour établir les fréquences de chaque lettre dans la langue française pour tous les niveaux scolaires étudiés car la base MANULEX ne permet pas d'avoir cette information).

Chaque association Lettre-Couleur a été codée en fonction de ces différents ordres. Par exemple, **A** est codée de telle sorte que $a = 1$ dans l'ordre alphabétique et l'ordre alphabétique séparant consonnes et voyelles, $a = 3$ selon sa fréquence dans la langue française (New *et al.*, 2001), et rouge = 1 dans l'ordre de préférence de chaque niveau scolaire et de l'ensemble des enfants, rouge = 2 dans les ordres de Battig et Montague (Battig et Montague, 1969), de Berlin et Kay (Berlin et Kay, 1969) et de Lexique, oral comme écrit (New *et al.*, 2001). Pour une comparaison optimale avec les données de Simner et collaborateurs (2005), les associations des enfants ont été répertoriées et comptées ($N_{GS} = 14$, $N_{CP} = 19$, $N_{CE1} = 15$, et $N_{TN} = 19$) pour connaître la puissance de la comparaison avec les adultes synesthètes anglophones (A.S. ; $N_{AS} = 48$).

Les enfants français, tous niveaux scolaires confondus, tendent à associer les couleurs qu'ils préfèrent aux premières lettres de l'alphabet, que ce dernier soit considéré dans son ensemble ou en séparant les voyelles et les consonnes (tous les $\rho \geq 0,6309$, $p < 0,0038$; Figure 11.3). Leurs associations Lettre-Couleur ne paraissent pas être influencées par d'autres mécanismes d'ordre méthodologique ou

3. MANULEX est une base de données lexicales françaises répertoriant les fréquences lexicales selon le niveau scolaire de l'enfant (i.e. CP et CE1), d'après les mots écrits utilisés dans les manuels scolaires français (Lété *et al.*, 2004).

4. Lexique est une base de données de fréquences lexicales françaises pour les formes parlées et écrites des mots (Lexique oral et Lexique écrit ; New *et al.*, 2001).

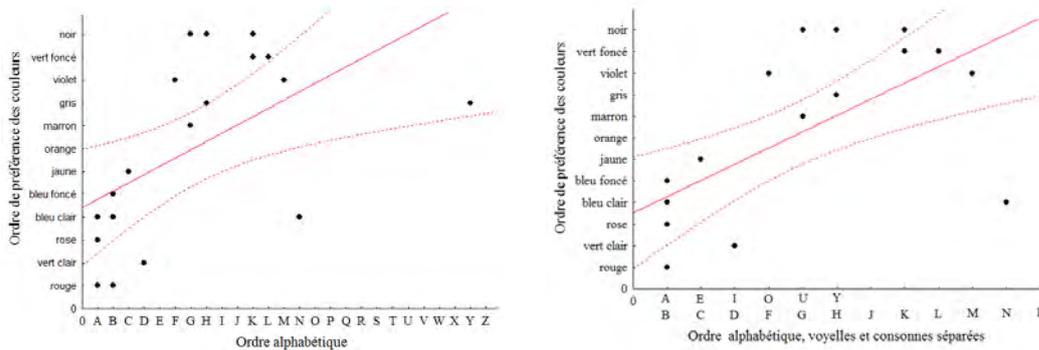


Fig. 11.3: Représentation des corrélations observées entre les couleurs les plus utilisées (axe des Y) par l'ensemble des enfants et les premières lettres de l'alphabet (axe des X). A gauche, les lettres sont ordonnées dans l'ordre alphabétique de gauche à droite; à droite aussi, à la différence près que voyelles et consonnes sont séparées. Chaque point marque une association lettre-couleur supérieure à la chance; les lignes pointillées représentent l'intervalle de confiance à 95%.

de facilité d'élaboration en mémoire.

À un niveau plus fin, les GS ne paraissent pas employer de stratégies particulières pour associer les lettres et les couleurs. Les CP tendent à associer les couleurs qu'ils préfèrent aux premières lettres de l'alphabet ($\rho = 0,46$, $p < 0,05$, C.I.95% = [0,3; 75,4]%). Les CE1 semblent eux aussi utiliser leurs couleurs préférées pour lier lettres et couleurs, mais contrairement aux enfants de CP ils ne les associent pas en fonction de la place de la lettre dans l'alphabet mais en fonction de sa fréquence ($\rho = 0,52$, $p < 0,05$, C.I.95% = [-1,2; 81,5]%). Ces différences observées entre les CE1 et les enfants de niveaux scolaires inférieurs sont cependant à considérer avec précaution du fait du nombre très restreint d'associations analysées dans les différents niveaux (i.e. $N_{GS} = 14$, $N_{CP} = 19$ et $N_{CE1} = 15$). Les enfants non synesthètes utilisent des schémas d'association Lettre-Couleur différents de ceux des adultes synesthètes anglophones, ce qui tend à fragiliser l'hypothèse d'un mécanisme associatif présent durant l'enfance et fossilisé chez les synesthètes (Watson *et al.*, 2014). Les enfants non synesthètes français se distinguent aussi des adultes non synesthètes anglophones, relativisant l'hypothèse d'un modèle associatif basé sur un continuum entre synesthètes et non synesthètes, universel et

présent dès la naissance (Baron-Cohen *et al.*, 1996). Mais la différence entre les schémas associatifs des enfants non synesthètes français et ceux des adultes non synesthètes anglophones pourrait être due au fait que ce continuum serait bien présent dès l'enfance mais dépendrait de la langue parlée et ne serait pas universel. Les schémas associatifs sous-jacents aux associations Lettre-Couleur des adultes non synesthètes français peuvent répondre à cette interrogation : si leurs schémas associatifs sont les mêmes que ceux des enfants non synesthètes français, alors le continuum entre synesthètes et non synesthètes pourrait tenir son existence de mécanismes liés à la langue natale mis en place dès l'enfance. En revanche, si leurs mécanismes d'appariement sont similaires à ceux des adultes non synesthètes anglophones, alors le continuum entre synesthètes et non synesthètes dépasse la langue parlée par l'individu, mais se met en place tardivement.

Le nombre d'associations entre lettres et couleurs des adultes non synesthètes français ($N = 37$) atteint celui des adultes synesthètes ($N = 48$) et non synesthètes ($N = 33$) anglais. Ce groupe paraît associer les lettres les plus fréquentes ou les premières dans l'ordre alphabétique, voyelles et consonnes séparées, aux couleurs qu'ils préfèrent ($\rho_s \geq 0,35$, $p < 0,03$; cf. Figure 11.4). De même, il tend à associer les premières lettres dans l'ordre alphabétique, voyelles et consonnes séparées, aux couleurs les plus faciles à générer en mémoire et les plus prototypiques (i.e. ordre de Battig et Montague, 1969; $\rho_s \geq 0,38$, $p < 0,02$; cf. Figure 11.4), comme le font les adultes non synesthètes anglophones (Simner *et al.*, 2005).

11.2.2 Stratégie lexicale

En plus des mécanismes cités précédemment (ordre alphabétique, fréquence alphabétique, élaboration spontanée, etc.), il existerait aussi des processus sémantiques qui lieraient lettres et couleurs, chez les non synesthètes comme chez les synesthètes (Day, 2005; Rich *et al.*, 2005; Simner *et al.*, 2005; cf. Section 3.3.3, page 107). Comme dans l'étude de Simner et collaborateurs (2005), le rôle des connaissances lexicales a été examiné en s'intéressant plus particulièrement à l'indigage des couleurs par la première lettre de leur nom (e.g. dans l'étude de référence, les lettres *R* ou *B* sont respectivement associées aux couleurs *rouge* et *bleu* et ce sont les premières lettres des termes anglais utilisés pour nommer

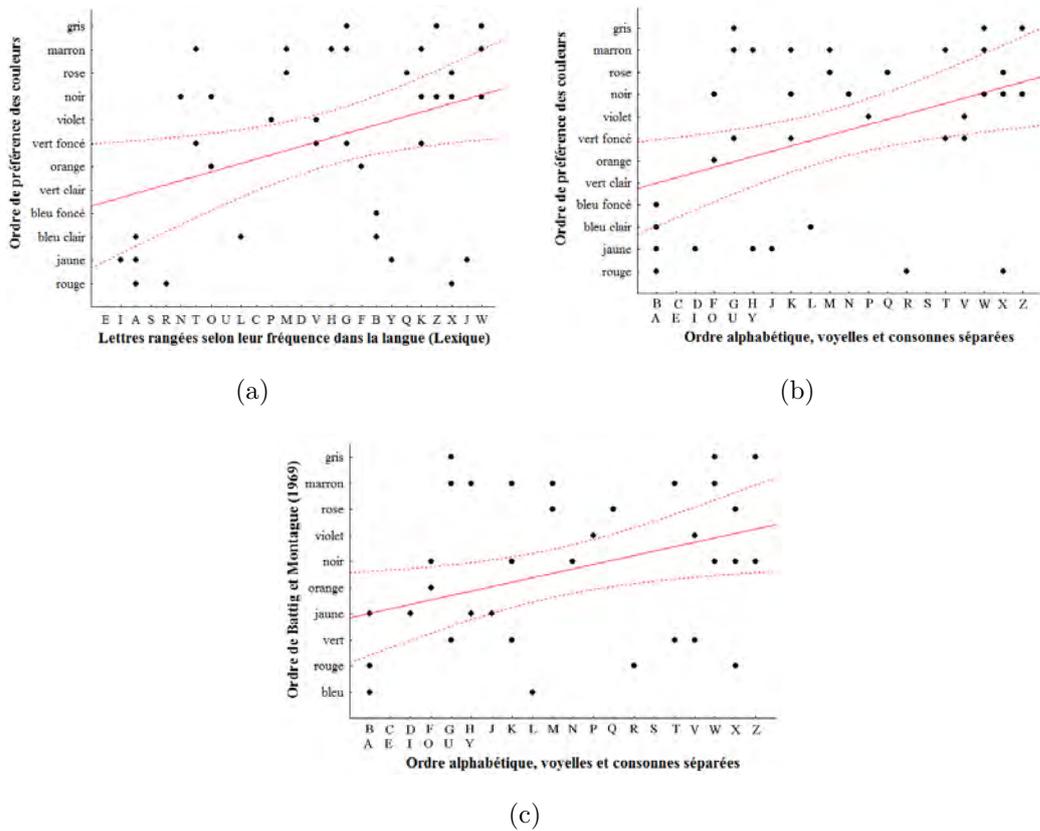


Fig. 11.4: Représentation des corrélations observées dans les associations supérieures à ce qui est attendu par hasard effectuées par les adultes non synesthètes contrôles. Les lettres sont ordonnées sur l'axe des X de la plus fréquente à la moins fréquente (a), ou selon l'ordre alphabétique, voyelles et consonnes séparées (b et c). Les couleurs sont rangées sur l'axe des Y de la plus utilisée par l'ensemble des adultes à la moins utilisée (a et b) ou de la plus prototypique à la moins prototypique (c). Chaque point marque une association lettre-couleur supérieure à la chance ; les lignes pointillées représentent l'intervalle de confiance à 95%.

ces couleurs). Pour étudier ce point, les associations Lettre-Couleur supérieures à ce que prédit le hasard ont été codées : pour chaque individu, si la lettre est associée à une couleur dont elle initie le nom, l'association est codée 1 (e.g. J-Jaune), sinon elle est codée 0 (e.g. J-Vert). Dans cette étude, huit lettres peuvent être associées à une couleur dont elles initient le nom (i.e. N-Noir, G-Gris, R-rouge ou Rose, J-Jaune, O-Orange, V-Vert clair ou Vert foncé ou Violet, B-Bleu clair ou Bleu Foncé, M-Marron). En moyenne, les enfants associent très peu une couleur en fonction de sa première lettre ($\mu_{GS} = 0,39, \sigma_{GS} = 0,59$; $\mu_{CP} = 0,38, \sigma_{CP} = 0,54$; $\mu_{CE1} = 0,28, \sigma_{CE1} = 0,49$). Le niveau de hasard a été calculé d'après le nombre moyen d'associations lettre-couleur basées sur la première lettre du mot de couleur, après avoir permuté les couleurs de chaque individu entre tous leur graphèmes écrits par l'individu ($\mu_{GS} = 1,03, \sigma_{GS} = 0,90$; $\mu_{CP} = 1,02, \sigma_{CP} = 0,99$; $\mu_{CE1} = 0,77, \sigma_{CE1} = 0,86$). Les enfants ne paraissent donc pas utiliser cette stratégie lexicale pour associer lettres et couleurs. Au contraire, conformément aux adultes anglophones synesthètes et non synesthètes (Simner *et al.*, 2005), les adultes non synesthètes français tendent à associer les lettres avec les couleurs dont elles initient le nom, de façon plus importante que ce qui peut être attendu par le hasard ($t(265) = 8,96, p < 0,0001$; IC à 95% de la différence entre les moyennes réelles et aléatoires des participants = $[0,91; 1,43]$). Le manque d'utilisation de cette stratégie chez les enfants français non synesthètes pourrait s'expliquer par leur manque de connaissance sur l'écriture des mots de couleur, au moins en ce qui concerne les élèves de GS. Cette stratégie lexicale pourrait se mettre en place plus tard au cours du développement, une fois l'acquisition de la lecture et de l'écriture bien ancrée. Cette différence de stratégie lexicale entre enfants et adultes non synesthètes français peut se généraliser à d'autres mécanismes associatifs plus conscients : contrairement aux enfants, les adultes racontent s'être appuyés sur des stratégies sémantiques pour effectuer la tâche telle que l'association d'une couleur à une lettre en fonction de la couleur des fruits (e.g. C-orange, car C est l'initiale du mot « clémentine ») ou encore l'utilisation des noms d'animaux pour certaines lettres (e.g. C-marron puisque le Chien est très fréquemment marron).



En résumé

Conformément à l'étude de Simner et collaborateurs (2005), certaines lettres et certaines couleurs sont parfois associées de manière plus fréquente que ce que prédit le hasard. Mais les résultats des enfants restent très proches du hasard sauf pour les paires A-rose et A-rouge ; les enfants suivent l'ordre alphabétique pour répondre à la tâche et commencent par les couleurs qu'ils préfèrent. Le fait de ne pas retrouver les mêmes mécanismes que ceux observés chez l'adulte, synesthète ou non, n'est pas dû à la langue, puisque les adultes français non synesthètes associent, comme les non synesthètes anglophones, les premières lettres de l'alphabet aux couleurs les plus faciles à générer en mémoire et les plus prototypiques (Battig et Montague, 1969). Par ailleurs, et contrairement aux enfants, les adultes anglophones et francophones utilisent des stratégies lexicales (e.g. associations d'une couleur à la première lettre qui initie son nom) et sémantiques (e.g. C-orange car la clémentine est orange et qu'elle commence par C).

Il ne paraît pas y avoir de mécanisme commun, universel, et présent dès la naissance (ou même chez l'enfant entre 5 et 8 ans), qui inciterait les individus de manière inconsciente à associer des couleurs aux lettres.

Discussion générale et perspectives

Nous savons que le phénomène de la synesthésie, cet état subjectif dans lequel un individu associe une expérience supplémentaire (e.g. une couleur) à la présentation d'un stimulus particulier (e.g. une lettre), est étudié depuis maintenant plus d'une centaine d'années (Flournoy, 1893; Galton, 1883), principalement chez l'adulte, sans qu'il y ait de consensus ni sur son origine ni sur son développement. Cette question est d'autant plus complexe que la synesthésie se décompose en plus d'une soixantaine de types selon le stimulus qui la déclenche (l'inducteur ; e.g. une lettre) et le genre de l'expérience ajoutée (appelée concurrent ; e.g. une couleur). L'enjeu principal de cette thèse était donc d'interroger la question des origines de la synesthésie et de l'émergence des associations synesthésiques à travers une population infantine. Les méthodes se sont inspirées de celles utilisées chez l'adulte. Notre étude s'est déroulée selon trois étapes :

1. l'étude de la prévalence de différents types de synesthésie chez l'enfant (Graphème-Couleur, Graphème-Genre et Forme des nombres).
2. l'étude de l'évolution de la prévalence et des associations synesthésiques dans trois différentes tranches d'âge (dernière année de maternelle et deux premières années d'école primaire).
3. l'étude des associations Lettre/Chiffre-Couleur chez les enfants non synesthètes.

Les difficultés méthodologiques qu'induit l'examen de cette particularité subjective qu'est la synesthésie, augmentent lorsqu'on tente de l'étudier chez l'enfant. Dans ce dernier chapitre nous reviendrons donc dans un premier temps sur ces problèmes méthodologiques. Nous tenterons ensuite de discuter les résultats obtenus, à la lumière de la littérature scientifique, tout en gardant à l'esprit les limites engendrées par la méthodologie utilisée.

12.1 La Méthodologie et ses limites

En se basant sur les principales caractéristiques de la synesthésie (considérée comme étant idiosyncrasique, additionnelle, automatique, arbitraire, consciente et constante ; Hupé, 2012; Simner, 2012a), l'étude de l'origine de la synesthésie s'est, pour l'heure, effectuée à travers des recherches comportementales (ou neurophysiologiques, principalement par l'intermédiaire de l'imagerie cérébrale) chez l'adulte. Les études comportementales s'appuient aujourd'hui plus spécifiquement sur deux niveaux :

- un niveau phénoménologique, par l'intermédiaire de questionnaires,
- et un niveau plus objectif et quantitatif, grâce à des tests de constance, une tâche de Stroop adaptée à la synesthésie ou d'autres tâches selon le type de synesthésie examiné et l'hypothèse testée.

La majeure partie des études traitant de la synesthésie interroge la constance des associations pour attester de la synesthésie de l'individu (Carmichael *et al.*, 2015). La façon de recueillir les associations a pu, par contre, changer d'une étude à l'autre (questionnaires écrits, interrogation orale, choix de couleurs sur une palette informatisée dans le cadre de la synesthésie Graphème-Couleur, etc.). L'intervalle entre les sessions de tests peut lui aussi changer en fonction des études. Mais comme plusieurs sessions sont nécessaires pour confirmer la synesthésie de cette manière, certains participants abandonnent la procédure expérimentale en cours, entraînant une sous-estimation du nombre de synesthètes dans la population. Actuellement, la procédure expérimentale la plus utilisée pour s'assurer de la synesthésie d'un participant adulte est la batterie de test d'Eagleman (Eagleman *et al.*, 2007), disponible en ligne. Elle regroupe les différents tests cités plus haut et elle est associée à un algorithme d'analyse de données qui calcule directement les différents résultats obtenus par le participant, pour permettre une généralisation de la procédure et des critères de sélection. Elle s'appuie donc essentiellement sur un questionnaire et une épreuve de constance informatisée (basée sur un test et un retest surprise, espacés de dix minutes), lorsque le type de synesthésie examiné le permet. Cependant, l'utilisation de la constance comme moyen de sélection des participants pose problème : il existe des synesthètes dont les associations ne sont pas aussi constantes que l'envisage le critère défini dans la littérature scientifique (i.e. majo-

ritairement au dessus de 80% d'associations similaires entre deux sessions de test ; Carmichael *et al.*, 2015; Eagleman *et al.*, 2007). Si ces méthodes sont discutées chez l'adulte, elles restent les plus employées. Chez l'enfant, les problèmes cités ci-dessus augmentent :

- l'utilisation de la constance implique que la synesthésie chez l'enfant soit aussi spontanée et évidente que ce qui est décrit par certains synesthètes adultes. Par exemple, chez l'adulte, quand une lettre est écrite avec une couleur différente de la couleur synesthésique, le synesthète témoigne souvent d'un sentiment de mal-être, ce qui l'incite à reproduire ses propres associations quand il lui est demandé d'associer un graphème à une couleur (Cytowic, 2002a). Or, on pourrait imaginer que l'enfant ait des associations synesthésiques mais qu'il ne soit pas gêné de changer le concurrent habituel dans le cadre de nos exercices, et qu'il puisse décider d'en changer pour le test, surtout quand le même exercice lui est présenté à plusieurs reprises (notamment pour la cinquantaine d'enfants ayant repassé l'ensemble de la procédure une seconde fois) et que cet exercice est exécuté en classe, lieu où il a l'habitude d'avoir des réponses qui sont soit correctes soit incorrectes. L'enfant peut se dire que si on lui redonne la même consigne c'est qu'il a dû se tromper la première fois ; il peut alors volontairement changer sa réponse pour ne pas répéter ce qu'il pense être une erreur. De plus, les adultes sont souvent conscients que le chercheur interroge leurs associations et leurs constances. Ils vont donc majoritairement refaire les mêmes associations tout au long des différentes sessions de tests. Au contraire, les enfants interrogés ici n'avaient pas connaissance du sujet de l'étude. Enfin, dans la majorité des études, il est demandé au sujet de donner le « bon » concurrent pour un inducteur (e.g. la « bonne » couleur ; (Simner *et al.*, 2009a, 2006b) ce qui pourrait inciter le synesthète à donner son association synesthésique. Or nous demandions juste d'associer un concurrent à un inducteur sans préciser qu'il pouvait y avoir une « bonne » association, ce qui a pu laisser plus de choix aux potentiels synesthètes que dans les études habituelles.
- si on fait appel au témoignage d'un enfant, les questions doivent être toujours claires et faciles à comprendre (surtout entre 5 et 8 ans, âges auxquels on l'interroge dans cette thèse). Or, dans l'étude de la synesthésie, la difficulté

à énoncer des questions claires sans biaiser la réponse de l'enfant a déjà été relevée par plusieurs auteurs (Flournoy, 1893; Phillips, 1897). Nous avons retrouvé cette difficulté dans notre étude, même en s'étant appuyés sur les questions posées par Simner aux enfants, questions à partir desquelles les auteurs avaient noté des scores différents entre les synesthètes et les non synesthètes chez les enfants entre six et sept ans (Simner *et al.*, 2009a). D'un autre côté, ces questions avaient été laissées de côté par Simner et Bain (2012a) lorsque ces auteurs avaient réinterrogé les synesthètes et certains non synesthètes de l'étude précédente. Ils trouvaient trop difficile d'aborder ces questions avec des enfants de moins de quinze ans. Le fait que la procédure ait eu lieu en classe entière ne permet pas d'être certain que l'enfant n'ait pas subi de pressions sociales pour répondre. Il pourrait en effet changer ses réponses pour être en conformité avec ses voisins. Les réponses phénoménologiques des enfants n'ont pas pu être utilisées comme critère de sélection des synesthètes.

- les associations synesthésiques semblent se fixer au cours du temps, au moins en ce qui concerne les associations Graphème-Couleur (Simner et Bain, 2013; Simner *et al.*, 2009a; Simner et Hubbard, 2013). L'étude de la synesthésie, en se basant sur ce critère, paraît dès lors complexe, surtout aux âges où on l'interroge (d'après Simner et Bain, 2013, la constance pourrait être en dessous de 30% d'associations chez les enfants de moins de 5 ans, moins de 35% pour les moins de 6 ans). Utiliser la constance comme critère de sélection des synesthètes suppose donc que les enfants synesthètes des tranches d'âge interrogées ont suffisamment d'associations fixées pour se détacher des enfants non synesthètes. Cela suppose aussi que les enfants non synesthètes fassent les associations demandées de manière complètement arbitraire, sans utiliser de stratégies séquentielles (e.g. utiliser une séquence de couleur pour écrire les chiffres) ou lexicales (e.g. associer les lettres aux genres en fonction des prénoms de personnes de sa famille), ce qui leur permettrait d'avoir un niveau de constance plus élevé. L'utilisation d'un test de type Monte Carlo nous a permis de réduire les difficultés liées au problème de constance; les enfants sont considérés comme étant synesthètes si leur niveau de constance d'une session à l'autre est supérieur à ce que permet le hasard (cf. Section

7.1.1, page 165 ; Simner *et al.*, 2011b; Wagner et Dobkins, 2011). Cette méthode, couplée à une analyse visuelle (cf. Section 7.1.3, page 172) de toutes les productions des enfants considérés comme potentiellement synesthètes au niveau statistique, a permis de réduire encore en partie ces difficultés rencontrées dans l'étude de la synesthésie Graphème-Couleur, mais elle ne permet pas pour autant de trancher définitivement sur l'existence ou l'absence de cette caractéristique chez les enfants interrogés. Son utilité a été encore plus limitée en ce qui concerne la synesthésie Graphème-Genre, du fait du choix restreint d'associations dans ce cadre (le graphème ne pouvait être que « fille » ou « garçon », ce qui augmentait les possibilités d'utilisation de stratégies d'associations). Parmi les 43 enfants testés une seconde fois pour la synesthésie Graphème-Genre, il y a, dans le groupe des synesthètes potentiels en deuxième année, autant d'enfants considérés comme synesthètes potentiels la 1^{re} année que d'enfants considérés comme non synesthètes la 1^{re} année. Seuls neuf enfants sont considérés les deux années comme non synesthètes. Il faudrait alors inspecter plus en détail toutes les associations des synesthètes pour être sûr que l'importante proportion de synesthètes potentiels Graphème-Genre (entre 40 et 50% des enfants interrogés) soit réelle. La prévalence de synesthètes Graphème-Genre relevée ici est donc à considérer avec la plus grande précaution. Concernant la synesthésie Forme des nombres, cette méthode n'a pas pu être employée ; le critère de sélection reste donc, dans cette thèse, très subjectif.

Étant donnée la singularité de la synesthésie, un nombre important d'enfants devaient être interrogés, ce qui demandait d'avoir accès à un grand nombre d'écoles. Ce test devait être le même pour tous les enfants, quel que soit le niveau et quelle que soit l'école testée, pour que nous puissions les comparer. Or notre procédure expérimentale ne devait pas être trop longue afin de ne pas nous fermer les portes d'un trop grand nombre de classes ; il faut bien comprendre que les enseignants ne sont pas totalement maîtres du temps dont ils disposent, au vu des tâches qu'ils ont à accomplir. Comme nous voulions examiner le développement de la synesthésie en lien avec l'apprentissage de la lecture et de l'écriture des lettres et des nombres, il fallait interroger des enfants en pré-apprentissage, en apprentissage et post-apprentissage. Les consignes, les exercices et le temps de passation devaient

donc être adaptés à la plus jeune tranche d'âge interrogée (i.e. les Grandes Sections, c'est-à-dire les enfants qui avaient majoritairement entre 5 et 6 ans), à son niveau de compréhension et d'attention. L'interrogation des associations par l'intermédiaire de l'écrit nous permettait d'avoir une première idée des connaissances des enfants concernant l'écriture des lettres et des nombres et sur ces deux concepts en général. Ces observations étaient cependant limitées (cf. Section 10.1.4, page 262) et auraient demandé à d'être accompagnées de tests spécifiques pour être vérifiées. Des tests informatisés et des rencontres individualisées (comme Simner et collaborateurs (Simner et Bain, 2013; Simner *et al.*, 2009a) l'ont mis en place dans leurs études) auraient nécessairement diminué le nombre d'enfants prenant part à l'étude et diminué d'autant nos chances d'observer des associations synesthésiques. Le choix d'une procédure expérimentale passant par la production écrite a donc permis d'optimiser le temps passé dans chaque classe (les enfants effectuant le test en classe entière, la passation durait, en tout, en moyenne deux heures par session).

Le premier résultat de notre recherche est donc d'avoir mis en évidence le caractère incontournable des difficultés pratiques d'une telle étude : spécificité de l'enfant, nombre forcément restreint des interrogations par rapport à ce qui serait nécessaire, limitation inévitable de l'accès aux écoles.

12.2 Retour sur les résultats, la prévalence de la synesthésie

Pour examiner l'origine et le développement de la synesthésie, nous nous sommes intéressés, dans un premier temps, à l'étude de la prévalence de cette particularité chez les enfants.

Si on considère que la synesthésie se définit par sa constance, son automaticité, sa conscience, son caractère additionnel, idiosyncrasique et arbitraire, telle qu'elle est décrite dans les études chez l'adulte (cf. Section 1.1.3, page 25), alors nous ne pouvons pas attester de son existence chez l'enfant de manière certaine, quelle que soit la forme étudiée ; aucun des trois types étudiés ici (i.e. Graphème-Couleur, Graphème-Genre et Forme des nombres) ne semble aussi conscient que ce qui a

pu être décrit dans les études chez l'adulte. Les synesthésies Graphème-Couleur et Forme des nombres, ne paraissent pas être aussi constantes, et semblent être induites par moins d'inducteurs que chez l'adulte (Simner *et al.*, 2006b).

Simner et collaborateurs (2013; 2009a) ont cependant émis l'hypothèse que la synesthésie chez l'enfant existe bien, mais sous une forme différente : les enfants seraient moins constants que les adultes, auraient moins d'inducteurs associés à un concurrent, et auraient moins conscience de leurs associations ou au moins de la singularité de ces dernières. Cela implique que la méthode de sélection des synesthètes mise en place soit différente de chez l'adulte (cf. Section précédente), mais il est difficile de mettre en place une méthode de sélection sans savoir la forme exacte que prend cette particularité chez l'enfant.

Dans un premier temps, nous avons donc tenté de déterminer la prévalence des trois différentes formes de synesthésie (formes considérées comme les plus répandues chez l'adulte) en nous appuyant sur le critère de constance des associations, comme l'avait fait Simner et ses collègues pour l'étude de la synesthésie Graphème-Couleur chez l'enfant, en considérant comme synesthètes potentiels Graphème-Couleur et Graphème-Genre les enfants dont le nombre d'associations fixes entre deux sessions est supérieur à ce qui est attendu par hasard. Le niveau de hasard a été calculé avec une méthode de type Monte Carlo, par enfant en fonction du nombre de lettres et de couleurs utilisées, avec un critère statistique à 0,05 (critère habituel dans ce type d'analyse et qui devait permettre un compromis entre le nombre de « faux positifs » et de « faux négatifs »). Les enfants synesthètes potentiels Forme des nombres étaient les enfants dont l'organisation spatiale des nombres se ressemblait entre les deux sessions et n'était pas en ligne droite de gauche à droite.

Après avoir exclu les enfants utilisant des stratégies d'associations (e.g. utiliser une séquence de couleur pour colorer l'alphabet, ou associer toutes les lettres à un même genre ; cf. Section 7.1.3, page 172), ont été considérés comme synesthètes potentiels : 40 des 705 enfants interrogés dans le cadre de la synesthésie Graphème-Couleur (5,7% ; I.C. à 95% = [4,1 ; 7,7]%), 316 des 706 enfants interrogés pour la synesthésie Graphème-Genre (44,76% ; I.C. à 95% = [41,1 ; 48,5]%), et 22 des 697 enfants testés pour la synesthésie Forme des nombres (3,2% ; I.C. à 95% = [2,04 ; 4,8]%).

Du fait des difficultés méthodologiques induites par l'étude de cette particularité chez l'enfant, comme exposées plus haut, nous avons tenté de vérifier notre critère de sélection :

1. en ajoutant un 2nd critère (vérification aussi utilisée dans les études chez l'adulte).
2. en analysant les réponses des enfants à plus long terme, pour la cinquantaine d'enfants qui ont pu repasser une seconde fois l'ensemble de la procédure expérimentale (vérification aussi utilisée dans le cadre de l'étude de la synesthésie chez l'enfant ; Simner et Bain, 2013; Simner *et al.*, 2009a).
3. en utilisant un critère statistique plus strict.
4. en regardant l'évolution du nombre d'enfants par classe.
5. en examinant l'évolution du nombre d'associations synesthésiques.

Ces diverses méthodes de vérification du critère de sélection des synesthètes potentiels ne nous ont pas toutes renseignés de la même façon. Les utilisations d'un critère plus strict et d'un second critère nous ont permis de réduire le nombre de « faux positifs » de notre groupe de potentiels synesthètes, de même que l'analyse des réponses des enfants sur le long terme. Cette dernière observation, couplée aux analyses de l'évolution du nombre d'enfants synesthètes et du nombre d'associations synesthésiques par niveau scolaire, nous donne une première base de réflexion concernant les liens possibles entre synesthésie et apprentissage. Elle nous permet du même coup de nous assurer de l'existence de cette condition chez l'enfant. Si une quelconque évolution est observée, il est fort probable qu'il y ait de véritables synesthètes dans notre groupe de synesthètes potentiels puisqu'il n'y a pas de raison que le nombre de faux positifs et le nombre d'associations fixes augmentent avec le niveau scolaire.

12.2.1 L'ajout d'un 2nd critère

La façon la plus simple de tester notre critère de sélection des synesthètes potentiels était d'utiliser un deuxième critère, basé sur la définition de la synesthésie : le critère de conscience. En effet, si la synesthésie est aussi consciente, les enfants considérés comme synesthètes potentiels d'après la constance de leurs associations,

devraient avoir conscience de la constance de leurs associations et être alors capable de le dire dans un questionnaire. C'est du moins le cas pour les adultes (Simner, 2012a).

Le nombre d'enfants considérés comme synesthètes potentiels change drastiquement lorsqu'on utilise les deux critères (i.e. constance et conscience des associations). Si les enfants synesthètes ont réellement conscience de leurs associations et qu'ils sont capables d'une méta-analyse de leurs associations, la prévalence de la synesthésie Graphème-Couleur serait de 1,04%, la Graphème-Genre de 12,3% et la Forme des nombres de 1,2%.

Nous considérons cependant ces résultats avec précaution pour plusieurs raisons :

- tous les enfants n'ont pas répondu aux questions dans les mêmes conditions ; notamment, certains enfants avaient répondu en petit groupe ou en classe entière et avaient dès lors pu subir les pressions de leur voisinage pour répondre.
- les questions ont régulièrement été mal comprises, et ce, quelle que soit la synesthésie interrogée.

Nous avons donc préféré ne pas prendre en compte le critère phénoménologique pour juger notre critère de constance, et nous orienter vers d'autres méthodes pour vérifier ce dernier critère.

12.2.2 L'étude longitudinale

L'analyse de la cinquantaine d'enfants ayant pu passer l'ensemble du protocole expérimental une deuxième fois aurait pu nous permettre de vérifier autrement la validité de notre critère de sélection des synesthètes potentiels, comme cela a pu être le cas dans l'étude de Simner et collaborateurs (2013; 2009a) pour caractériser la synesthésie Graphème-Couleur chez des enfants entre 6 et 11 ans. Mais quelle que soit la synesthésie étudiée l'analyse de ces résultats ne nous a pas permis de démarquer les enfants synesthètes potentiels des autres, ni de les écarter du groupe des synesthètes potentiels.

En effet, au niveau de la synesthésie Graphème-Couleur, sur les 45 enfants réinterrogés une seconde fois, aucun des trois enfants considérés comme synesthètes la 1^{re} année n'a été considéré comme tel la 2^{nde}, ce qui suggérerait qu'ils n'étaient pas

réellement synesthètes. Mais d'un autre côté, en prenant un critère moins strict et en analysant le nombre d'enfants ayant passé le plus de fois le critère statistique sur les diverses comparaisons de sessions possibles (i.e. S1-S2, S2-S3, S3-S4, S1-S3, S1-S4, S2-S4, et S1-S4) seuls les trois enfants relevés la première année avaient un nombre d'associations constantes supérieur à ce qui était attendu par hasard pour au moins deux comparaisons. L'étude de leurs associations n'a cependant pas permis de les considérer définitivement comme synesthètes, ni de les exclure de façon certaine du groupe des synesthètes potentiels.

Concernant la synesthésie Graphème-Genre, sur les 43 enfants interrogés les deux années, quatorze enfants ont été considérés comme synesthètes les deux années, et trois enfants dépassaient le critère statistique représentant le hasard dans l'ensemble des comparaisons entre les diverses sessions (i.e. S1-S2, S2-S3, S3-S4, S1-S3, S1-S4, S2-S4, et S1-S4). Mais seulement neuf enfants ont été continuellement considérés comme non-synesthètes. La répartition des enfants dans les groupes pourrait donc être aisément obtenue par hasard. Ici encore les enfants considérés comme synesthètes potentiels ne pouvaient ni être considérés comme de véritables synesthètes, ni être comptés comme non-synesthètes.

Enfin, le même schéma est observé pour la Forme des nombres : aucun des deux enfants considérés comme synesthètes potentiels la 1^{re} année n'était compté comme tel la 2^{de}, ce qui suggérerait qu'ils n'étaient pas réellement synesthètes et que notre critère de sélection des potentiels synesthètes était trop laxiste. Mais l'observation attentive de leurs associations a pu nuancer cette dernière affirmation ; certains enfants, parmi le groupe des potentiels synesthètes, pourraient mettre en place leurs associations synesthésiques à l'âge testé ici.

De manière générale, cette méthode n'a pas permis, elle non plus, de valider ou d'invalider la sélection des synesthètes potentiels à partir de leur nombre d'associations constantes.

12.2.3 Un critère statistique plus strict

Du fait de cette impossibilité de déterminer le nombre précis de synesthètes à partir de la constance ou de la réponse aux questions concernant la conscience des associations, nous avons tenté de départager, dans le groupe des synesthètes

potentiels, les enfants véritablement synesthètes des enfants « faux positifs » en rendant notre critère plus strict. Au critère de 1/1000, aucun enfant ne devrait dépasser le critère de chance.

Pourtant pour la synesthésie Graphème-Couleur, six enfants sont restés synesthètes potentiels. Le nombre minimum d'enfants synesthètes serait donc de 0,85% (I.C. à 95% = [0,35 ; 1,94]%). On pourrait considérer que ces six enfants sont de véritables synesthètes. Mais cela reste à confirmer ; un des six enfants a pu repasser une seconde fois l'ensemble de la procédure expérimentale et, comme nous l'avons noté plus haut, il n'a pas été considéré comme synesthète potentiel de façon claire la 2nde fois. Ce taux reste par ailleurs une limite basse des différentes estimations de la synesthésie Graphème-Couleur chez l'adulte. Dans le cadre de la synesthésie Graphème-Couleur, on aurait donc entre 0,35% et 1,94% de synesthètes, il semblerait alors que si les enfants considérés comme synesthètes potentiels ici sont bien synesthètes, il y ait moins d'enfants entre 5 et 8 ans synesthètes, que de synesthètes adultes, et que ces enfants aient dans tous les cas moins d'associations fixes que les adultes.

En ce qui concerne la synesthésie Graphème-Genre, 137 enfants continuent à avoir plus d'associations similaires entre leurs deux sessions que ce que prédit la chance avec un critère statistique strict à 0,001. Sur ces 21,2% d'enfants potentiellement synesthètes, il est tout à fait possible qu'un certain nombre utilise des stratégies d'associations qui leur permettent d'avoir un nombre d'associations constant entre deux sessions de test, sans qu'ils soient pour autant de « vrais » synesthètes. L'analyse de l'étude pilote nous indique cependant qu'il n'y a pas beaucoup d'utilisation de stratégies d'organisation de la séquence (e.g. lier une lettre sur deux à un même genre). Mais il est possible que les enfants utilisent des stratégies lexicales que nous ne pouvons pas vérifier ; un enfant nous a par exemple indiqué avoir associé les lettres de l'alphabet à un genre en fonction du prénom et du sexe de ses camarades. Mais s'il s'avérait que ces 137 enfants sont bien des synesthètes, alors la proportion d'enfants synesthètes Graphème-Genre serait au moins aussi grande, sinon plus importante que le nombre d'adultes synesthètes.

Enfin, dans le cadre de la synesthésie Forme des nombres, la méthode utilisée pour analyser les données ne permet pas d'avoir de critère statistique, mais il est possible d'étudier les données avec un critère visuel plus strict, notamment en

considérant la complexité de la Forme, ses points de rupture, etc. Dans ce cas, très peu de synesthètes potentiels passeraient ce critère. Les enfants organisant leur séquence numérique en colonne pourraient être exclus de la liste des synesthètes car il est difficile d'être sûr du caractère constant de leurs associations. Parmi les formes plus complexes, seulement une à trois représentations pourraient être considérées comme vraiment fixes en analysant les points de rupture dans la forme prise par la suite de nombres, et même ces trois formes restent discutables. Il n'est pas sûr qu'une seule d'entre elles serait considérée comme synesthésique dans une population adulte. Si l'on pouvait avérer que les 22 enfants potentiellement synesthètes Forme des nombres sont réellement synesthètes, on aurait de toute façon une proportion moins importante de synesthètes chez l'enfant que chez l'adulte et les enfants plus âgés. Les Formes des enfants entre 5 et 8 ans semblent être moins constantes et moins complexes que celles des adultes et des enfants plus âgés bien que les associations de ces deux derniers groupes soient rarement montrées.

Malgré les différentes vérifications du critère de constance mises en place, nous ne pouvons donc ni exclure la possibilité que certains enfants soient synesthètes Graphème-Couleur, Graphème-Genre ou Forme des nombres, ni certifier que la synesthésie est inexistante chez les enfants entre 8 et 12 ans. Il est cependant fort possible que certains enfants considérés comme synesthètes potentiels soient synesthètes mais que cette particularité se manifeste de manière différente chez les enfants par rapport aux adultes. Nous avons donc continué à tester notre critère de sélection en nous interrogeant sur le développement de la synesthésie et sur ses liens avec l'apprentissage. En effet, si aucun enfant considéré comme synesthète potentiel n'était vraiment synesthète, nous ne devrions pas observer de différence dans leur nombre entre les différents niveaux scolaires. A l'inverse, si une différence était observée, nous pourrions considérer avec un peu plus de conviction l'existence de cette particularité chez les 5-8 ans.

12.3 Retour sur les résultats, le développement de la synesthésie et son lien avec l'apprentissage

12.3.1 La prévalence de la synesthésie par niveau scolaire

Nous observons une augmentation du nombre de synesthètes potentiels pour les trois types de synesthésie étudiés, mais de manière plus importante pour les synesthésies Graphème-Couleur et Forme des nombres. Cette observation est d'autant plus convaincante qu'il est fort probable que parmi nos groupes de synesthètes potentiels, se trouvent des « faux positifs », ce qui pourrait alors bruyé nos données et rendre l'augmentation du nombre de synesthètes potentiels par niveau scolaire moins convaincante que ce qu'elle est véritablement. Quel que soit le type de synesthésie, Graphème-Couleur, Graphème-Genre et Forme des nombres, notre groupe de synesthètes potentiels contient fort probablement de vrais synesthètes et ce nombre augmente avec le niveau scolaire.

Concernant plus particulièrement la synesthésie Graphème-Genre, la faible (et peu convaincante) augmentation inter-niveau de la prévalence semble cohérente avec les résultats de prévalence générale : le nombre de synesthètes potentiels étant plus important que la proportion de cette synesthésie chez l'adulte, il semblerait étrange que le nombre de synesthètes Graphème-Genre continuât massivement à augmenter. Il est possible que cette synesthésie se développe avant les deux autres types étudiés ici. Même si les réponses des synesthètes aux questionnaires sont à considérer avec précaution, nous pouvons tout de même noter la cohérence entre ces résultats et les réponses de 27 synesthètes personnifiant les graphèmes, ou les jours de la semaine et les mois de l'année, recueillies par Sobczak-Edmans (2013) : 59% d'entre eux pensent associer une personnalité à un graphème depuis qu'ils sont très jeunes (d'après eux, moins de cinq ans). 26% des synesthètes considèrent avoir développé leur synesthésie entre 5 et 8 ans et enfin 15% croient que c'était plutôt entre 9 et 11 ans.

Cette augmentation avec le niveau scolaire pourrait être associée aux capacités grandissantes des enfants qui auraient notamment une mémoire plus importante et qui pourraient alors mieux se souvenir de leurs précédentes productions. Nous ne

pouvons certes pas infirmer cette hypothèse, mais nous pouvons cependant noter que les enfants n'avaient pas connaissance de notre deuxième passage et n'avaient donc aucune raison d'essayer de retenir leurs associations lors de la première session.

12.3.2 L'évolution de la constance selon le niveau scolaire

Un autre moyen de tester notre critère de sélection des synesthètes et en même temps d'interroger le développement de la synesthésie est de s'intéresser à l'évolution de la constance des associations synesthésiques en fonction du niveau scolaire. On peut s'attendre à une augmentation du nombre d'associations fixes avec le niveau scolaire surtout dans le cadre des synesthésies Graphème-Couleur et Forme des nombres, puisque nous avons démontré que si les enfants considérés ici comme potentiellement synesthètes le sont réellement, la constance de leurs associations pourrait être très inférieure et ces associations elle-mêmes moins complexes (dans le cas de la Forme des nombres) que ce qui est attendu chez l'adulte. Cette méthode a par ailleurs déjà été employée par Simner et collaborateurs (2013; 2009a) dans le cadre de l'étude de la synesthésie Graphème-Couleur chez l'enfant entre 6 et 11 ans. Ils notent une augmentation du nombre d'associations fixes avec l'âge à cet âge et font l'hypothèse de l'existence d'une augmentation chez les enfants plus jeunes (augmentation qui serait autour de 30% au moins pour les enfants de notre dernier niveau scolaire, qui ont entre 7 et 8 ans).

Aucune augmentation n'est visible, quelle que soit la synesthésie étudiée. En ce qui concerne la synesthésie Graphème-Couleur, il est aussi possible que les enfants « faux positifs » présents dans notre groupe de synesthètes potentiels nous empêchent de déceler une augmentation; c'est du moins ce que peut laisser penser l'observation des résultats des six enfants synesthètes potentiels selon un critère statistique plus strict (0,001; l'enfant de GS a neuf associations constantes, les deux de CP en ont en moyenne dix, et les trois de CE1 en moyenne onze) si elle se vérifiait (par exemple en interrogeant un plus grand nombre d'enfants). Au niveau de la synesthésie Forme des nombres, il est difficile de conclure quoi que ce soit sur la constance des associations du fait du type de traitement de données employé. En ce qui concerne ces deux types de synesthésie (Graphème-Couleur et Forme

des nombres), les difficultés rencontrées par Simner et collaborateurs (2013) sont donc confirmées et renforcées dans notre étude avec un échantillon d'enfants plus jeunes, et cela nous conduit à penser que la constance n'est pas une caractéristique de la synesthésie aussi précise et déterminante que ce à quoi on pourrait s'attendre (cette remarque avait déjà été avancée, de façon plus réservée, dans notre réflexion sur la définition de la synesthésie chez l'adulte; cf. Section 1.1.3, page 25). Il faudrait donc considérer avec prudence les diverses études portant sur des cas isolés ou de petits échantillons et établissant la synesthésie de jeunes enfants à partir d'une constance forte et bien établie (Green et Goswami, 2008; Maurer *et al.*, 2013; Smilek *et al.*, 2002); même méfiance à l'égard des témoignages de synesthètes adultes affirmant avoir toujours fait ces associations (Flournoy, 1893; Simner, 2006; Van Campen, 2014).

Si on accepte maintenant de considérer que les enfants appartenant aux groupes des synesthètes potentiels sont réellement synesthètes, en s'appuyant notamment sur notre argument exposé dans la section précédente (i.e. évolution du nombre de synesthètes avec le niveau scolaire), il est alors possible d'envisager que les associations Graphème-Couleur commencent à se mettre en place entre 5 et 8 ans, mais qu'elles se développent et se fixent plus tardivement dans le développement. Dans le cadre de la synesthésie Forme des nombres, il est aussi possible de noter que les formes utilisées paraissent se complexifier au cours du temps; les enfants de niveau scolaire supérieur organisent leur séquence numérique avec des formes plus complexes que les enfants de niveau scolaire inférieur. La synesthésie Forme des nombres pourrait donc elle aussi se mettre en place entre 5 et 8 ans mais se complexifier et se fixer plus tardivement dans le développement.

L'absence d'augmentation du nombre d'associations constantes Graphème-Genre ne serait, quant à elle, pas très étonnante car si les enfants considérés comme synesthètes potentiels sont bien synesthètes, ils ont en moyenne un nombre d'associations fixes proche de celui des adultes (73% de graphèmes fixes dans notre étude contre par exemple 70,5% dans l'étude d'Amin et collaborateurs, 2011). Il serait en revanche possible que ce soit la complexité des personnalités qui évolue (Sobczak-Edmans, 2013).

Il serait aussi envisageable que ce manque de constance des enfants potentiels synesthètes (Graphème-Couleur et Forme des nombres) soit dû à la consigne et au

fait que les associations synesthésiques pourraient être moins spontanées et moins évidentes chez l'enfant que chez l'adulte. Les enfants auraient alors des associations préférées sans qu'elles soient inévitables. Comme on ne leur demande pas directement les associations qu'ils conserveraient dans le temps, ils n'auraient pas axé leurs réponses sur ce point.

12.3.3 La synesthésie et l'apprentissage : les capacités graphiques des synesthètes

Un autre moyen de s'intéresser au lien entre synesthésie et apprentissage tout en étudiant l'existence de cette particularité chez les enfants entre 5 et 8 ans est d'analyser les capacités graphiques des caractères alphanumériques des synesthètes potentiels et de les comparer aux capacités des enfants non synesthètes de même niveau scolaire. En effet, si une différence était observée, positive ou négative, cela renforcerait l'hypothèse de l'existence de « vrais » synesthètes dans notre groupe de synesthètes potentiels et nous permettrait d'avoir un premier indice quant aux liens entre le développement de cette particularité et les apprentissages.

Nous avons remarqué que les enfants synesthètes potentiels Forme des nombres et Graphème-Couleur semblaient avoir moins de difficultés que leurs pairs de même niveau scolaire lorsque le graphème s'inscrivait dans une association synesthésique. L'instabilité de ce type d'associations et le nombre de synesthètes potentiels étudiés ne nous a cependant pas permis de pousser plus loin notre réflexion. Mais la mise en rapport de ces résultats avec les observations suivantes et précédentes pourra nous permettre d'émettre une hypothèse quant au lien entre le développement de la synesthésie et l'apprentissage.

12.3.4 Le développement de la synesthésie : régularités des associations synesthésiques Graphème-Couleur

Dans la même logique que les sections précédentes, si les enfants considérés comme synesthètes potentiels ne sont pas réellement synesthètes Graphème-Couleur nous ne devrions pas observer de régularités d'associations entre les lettres

ou les chiffres et les couleurs¹. Au contraire, observer des régularités renforcerait l'idée que, parmi ce groupe d'enfants, certains soient réellement synesthètes. Le type de régularités pourrait alors nous renseigner sur la mise en place et le développement des associations synesthésiques en elles-mêmes ainsi que sur les mécanismes associatifs sous-jacents.

Malgré la disparité des lettres et des chiffres fixés par les 40 synesthètes potentiels Graphème-Couleur, et l'impression première d'idiosyncrasie des associations, nous avons remarqué, comme dans la littérature scientifique chez l'adulte (cf. Section 2.1.2, page 42), des régularités associatives. Si la synesthésie de ce groupe d'enfants se trouve vérifiée, on pourrait considérer que :

- contrairement à certaines hypothèses (Flournoy, 1893; Maurer *et al.*, 2013; Spector et Maurer, 2011), les premières associations à se développer ne paraissent pas être liées à la simplicité de la forme du graphème, et plus généralement de l'inducteur. Cette observation renforce par ailleurs l'idée que les synesthésies sont plus particulièrement liées au concept de l'inducteur plutôt qu'à son percept, comme nous avons pu le discuter dans notre introduction des études chez l'adulte (cf. Section 1.1.3, page 25).
- la position du caractère alphanumérique dans sa séquence a un impact sur la couleur associée.
- contrairement aux observations des associations adultes (Day, 2005; Rich *et al.*, 2005; Simner *et al.*, 2005), les associations synesthésiques enfantines ne subissent pas autant d'influences lexicales. En effet, seuls les enfants plus âgés associent une lettre au nom de la couleur qu'elle initie (e.g. R-rouge), et cette influence est minime (seulement deux des six lettres initiant une couleur). Les associations synesthésiques à influence lexicale doivent donc se mettre en place plus tardivement.

Si la synesthésie des synesthètes potentiels de notre étude est vérifiée, l'observation de règles d'associations nous a permis d'ouvrir des pistes de réflexions quant aux

1. Cette hypothèse pourrait être contredite par un certain nombre d'études s'intéressant aux régularités associatives d'individus non synesthètes adultes, mais notre étude effectuée chez les enfants non-synesthètes nous permet de formuler cette hypothèse, puisqu'on observe que les enfants non synesthètes associent les lettres et les couleurs de manière arbitraire en fonction de leur préférence de couleur, comme par jeu. Ces résultats seront détaillés et discutés plus amplement dans la section suivante.

mécanismes associatifs sous-tendant la synesthésie. L'étude de ces mécanismes associatifs dans le cadre d'associations forcées chez des enfants non synesthètes nous a permis d'approfondir ces pistes.

12.3.5 Les mécanismes associatifs graphème-couleur chez les non-synesthètes

Pour contourner le problème méthodologique, notamment lié au manque de puissance statistique induit par l'étude de la synesthésie, particularité peu commune, plusieurs auteurs se sont appliqués à déterminer autrement les processus associatifs (Simner *et al.*, 2005; Watson *et al.*, 2014) : particulièrement en comparant les associations effectuées par des synesthètes avec celles de non synesthètes adultes. L'étude de 504 enfants non synesthètes a permis d'apporter certains éléments de réponse laissés en suspens dans ces autres recherches, notamment en ce qui concerne l'hypothèse d'un mécanisme associatif qui tirerait son origine :

- d'associations universelles et innées présentes dans l'enfance (Baron-Cohen *et al.*, 1996; Calkins, 1893; Wagner et Dobkins, 2011).
- d'associations mises en place par tous les individus dans l'enfance lors d'apprentissages précoces, subsistant à l'état de trace chez l'adulte non synesthète et qui se seraient fossilisées chez l'adulte synesthète (Watson *et al.*, 2014).

Cette dernière hypothèse se base sur l'idée que tous les enfants ne sont pas forcément synesthètes au sens de l'adulte, mais qu'ils auraient des stratégies cognitives d'associations que les adultes synesthètes auraient gardées contrairement au reste de la population.

Dans le cadre des associations entre graphèmes et couleurs, les enfants feraient tous le même type d'associations, mais comme seuls les synesthètes Graphème-Couleur adultes les auraient gardées (Watson *et al.*, 2014), les enfants non synesthètes devraient alors avoir le même type d'associations que les synesthètes adultes mais pas le même que celui des non synesthètes adultes.

Afin d'examiner le développement des mécanismes associatifs et leurs similitudes entre synesthètes et non synesthètes, les associations lettre-couleur de 504 enfants non synesthètes français de trois niveaux scolaires différents (i.e. GS, CP, CE1) ont donc été analysées à la lumière de celles des adultes synesthètes anglophones

(Simner *et al.*, 2005) et des non synesthètes anglophones (Simner *et al.*, 2005) et francophones (groupe contrôle de 267 participants).

Des lettres et des couleurs sont associées entre elles par les différents enfants plus fréquemment que ce que prédit le hasard, mais elles varient d'un niveau scolaire à l'autre. Les enfants de Grande Section de Maternelle, n'ayant pas encore acquis la lecture, ne paraissent pas employer de stratégie particulière pour associer lettres et couleurs, contrairement aux élèves de CP et de CE1 qui s'appuieraient sur les couleurs qu'ils préfèrent (i.e. les couleurs les plus utilisées par le groupe, indépendamment du graphème). De manière générale, les enfants appariant lettres et couleurs de façon plus aléatoire que les adultes anglophones, synesthètes ou non. Leurs associations restent très proches de ce qui peut être observé par hasard, sauf en ce qui concerne les **A** et **A** qui correspondent à des paires prototypiques (la première lettre interrogée et la plus fréquente avec la couleur la plus prototypique). Chez l'enfant, les couleurs préférées par la tranche d'âge sont cependant plus souvent associées aux premières lettres demandées que les couleurs classiquement considérées comme prototypiques (Battig et Montague, 1969). Cette différence entre enfants francophones et adultes anglophones (synesthètes ou non) n'est pas due au langage ; en plus des associations entre les couleurs qu'ils préfèrent et les lettres les plus fréquentes ou les premières dans l'alphabet, les adultes non synesthètes francophones interrogés associeraient les premières lettres de l'alphabet avec les couleurs les plus faciles à générer spontanément et les plus prototypiques (i.e. ordre de Battig et Montague, 1969) comme c'est le cas des adultes non synesthètes anglophones (Simner *et al.*, 2005). Les adultes utilisent aussi, contrairement aux enfants, des stratégies sémantiques ou lexicales : les adultes synesthètes et non synesthètes, anglophones et francophones, associent les couleurs aux lettres qui initient leur nom (e.g. B-Bleu ; Day, 2005; Rich *et al.*, 2005; Simner *et al.*, 2005). Les hypothèses concernant un mécanisme associatif universel et inné (Baron-Cohen *et al.*, 1996; Calkins, 1893; Wagner et Dobkins, 2011) sont à nuancer au vu de ces résultats.

Cette différence entre enfants et adultes pourrait être due au fait que les plus jeunes n'ont pas encore tous acquis les connaissances nécessaires à l'élaboration de ces stratégies (e.g. savoir que le mot « bleu » commence par un B) et les élèves de CP et de CE1 n'ont certainement pas encore assez de recul sur leurs compétences pour

utiliser ces stratégies langagières sans que cela leur soit explicitement demandé.

A partir de ces résultats chez l'enfant non synesthète et des régularités associatives observées chez les enfants synesthètes, on pourrait imaginer que les mécanismes associatifs mis en place par les synesthètes se feraient petit à petit et fluctueraient d'un synesthète à l'autre, selon son environnement. Les deux alphabets colorés d'enfants synesthètes potentiels Lettre-Couleur pourraient appuyer cette hypothèse d'un impact de l'environnement et des apprentissages sur l'émergence, ou au moins la mise en liaison des associations. Comme Witthoft et collaborateurs (Witthoft et Winawer, 2006, 2013; Witthoft *et al.*, 2015), nous avons pu mettre en évidence le lien entre ces deux alphabets synesthésiques et deux objets environnementaux : un jeu composé de lettres colorées aimantées, diffusé par un important éditeur de jouets pour enfant, et les associations d'une méthode d'apprentissage de la lecture utilisée dans certaines écoles.

12.4 Les premiers éléments de réponse concernant le développement de la synesthésie

12.4.1 La définition de la synesthésie

Le premier résultat majeur est l'absence possible d'enfant synesthète, si on définit la synesthésie à partir de sa définition stricte établie à partir de l'étude de l'adulte. En effet, cette définition ancre la synesthésie sur cinq critères : la constance des associations, leur conscience, leur idiosyncrasie, leurs caractères automatique et arbitraire (cf. Section 1.1.3, page 25).

Or, nous n'observons qu'une constance très minime des associations chez l'enfant entre 5 et 8 ans. De plus, nous n'avons pas pu déterminer si ces enfants avaient conscience de produire des associations synesthésiques (d'après l'analyse des questionnaires, les analyses du critère phénoménologique). Cela pourrait être dû à des difficultés de compréhension de la question, mais aussi à des capacités moins importantes de méta-analyse. Peut-être les associations des enfants qui seront de futurs synesthètes adultes ne sont-elles pas encore aussi spontanées et aussi évi-

dententes que ce qu'elles semblent être chez l'adulte. Comme nous l'avons évoqué plus haut, les enfants pourraient alors avoir plus d'associations constantes dans le sens où elles seraient majoritairement préférées, sans pour autant qu'elles soient choisies à chaque interrogation. Cette hypothèse expliquerait la trajectoire chaotique prise par certains enfants considérés comme potentiels synesthètes interrogés deux années de suite et qui avaient un certain nombre d'associations similaires entre plusieurs sessions mais pas entre toutes (e.g. le synesthète potentiel G_{80} qui a au moins six associations similaires dans toutes les comparaisons de sessions, sauf entre ses sessions 3 et 4; mais cette remarque est vraie pour les trois enfants considérés comme synesthètes potentiels la première année et interrogés une seconde fois). Si les enfants considérés comme synesthètes potentiels dans notre thèse se trouvent devenir de véritables synesthètes, il serait envisageable que, dans les premiers stades de développement, la synesthésie ne se définisse pas de manière aussi stricte que ce qui a pu être décrit chez l'adulte. Cette définition stricte a d'ailleurs déjà été nuancée dans d'autres études chez l'adulte (Colizoli *et al.*, 2014; Mattingley, 2009; Simner, 2012a,b; cf. Section 1.1.3, page 25). Ce changement dans les associations synesthésiques entre graphèmes et couleurs a par ailleurs été démontré dans plusieurs cas s'intéressant aux associations d'enfants synesthètes (Hancock, 2006; Simner et Bain, 2013; Simner *et al.*, 2006b).

Si la définition de la synesthésie était nuancée et que la synesthésie des enfants considérés comme synesthètes potentiels était avérée par la suite, on pourrait considérer que les synesthésies Formes des nombres et Graphème-Couleur chez l'enfant entre 5 et 8 ans sont moins fortes et moins répandues que chez l'adulte.

Dans les deux cas (i.e. absence de synesthésie ou synesthésie moins importante que chez l'adulte), les résultats présentés ici contrastent avec les souvenirs décrits par certains adultes synesthètes qui prétendent avoir toujours eu leurs associations depuis aussi longtemps qu'ils s'en souviennent, ou depuis un très jeune âge (Van Campen, 2014). Ils incitent aussi à considérer avec précaution les études de cas décrivant des synesthésies précoces (Green et Goswami, 2008; Maurer *et al.*, 2013). Concernant le cas particulier de la synesthésie Graphème-Genre, s'il s'avérait que l'ensemble des enfants considérés comme synesthètes potentiels dans l'étude de cette thèse le soient réellement, les résultats laissent penser dans un premier temps que cette forme de synesthésie est déjà à cet âge, très proche de ce qui est décrit chez

l'adulte, au moins en ce qui concerne la constance des associations. Mais l'étude de la constance à plus long terme, en interrogeant certains enfants une deuxième fois, nous a appris que si les enfants considérés comme synesthètes potentiels la première année sont réellement synesthètes, ils ne sont pas aussi constants que des adultes à un an d'intervalle. Cette remarque les rapproche des synesthètes potentiels des autres types de synesthésie interrogés ici. De plus, les enfants synesthètes potentiels graphème-Genre ne semblent pas avoir une conscience aussi forte que ce qui est décrit chez l'adulte. En cela, les résultats liés à la synesthésie Graphème-Genre chez l'enfant rejoignent les résultats des deux autres types de synesthésie et permettent de nuancer la définition de cette particularité.

12.4.2 Le développement de la synesthésie

Le nombre de synesthètes potentiels semble augmenter selon le niveau scolaire, ce qui indiquerait que la synesthésie se développerait au cours du temps, quel que soit le type de synesthésie étudié. Le nombre total de synesthètes et l'évolution de la constance des associations selon le niveau scolaire semblent cependant, au premier abord, laisser penser que les trois types de synesthésie étudiés ici ne suivent pas la même trajectoire développementale et ne seraient alors pas nécessairement un seul et même phénomène.

Le nombre de synesthètes potentiels Graphème-Genre tous niveaux scolaires confondus, ainsi que le niveau de constance des associations laissent penser que si cette synesthésie est présente chez l'enfant, elle est déjà acquise et bien développée entre 5 et 8 ans. En effet le nombre d'enfants synesthètes potentiels Graphème-Genre est similaire, voire supérieur à ce qui est observé dans des échantillons d'adultes, et la constance des associations reste stable d'un niveau scolaire à l'autre. S'il s'avérait que la différence importante entre les proportions d'enfants et d'adultes synesthètes ne soit pas due à des questions de stratégies lexicales non contrôlées par notre méthode, il serait possible de considérer cette différence comme étant liée à la langue des participants interrogés. En effet, la majorité des études chez l'adultes sont anglophones, alors que les enfants testés ici sont francophones ; or le français est une langue basée sur un système « genré », qui attribue des genres grammaticaux à chacun de ses noms communs qu'ils réfèrent à un objet animé

ou inanimé. C'est du moins l'hypothèse émise par Chun et Hupé (2013), seuls chercheurs à avoir interrogé le nombre d'adultes synesthètes dans la population française et qui observent eux aussi un nombre plus importants de synesthètes que dans les autres études sur la synesthésie Graphème-Personnalité chez l'adulte anglophone. Il a par ailleurs été montré dans des études françaises que le genre grammatical peut avoir une incidence sur le genre attribué à des objets inanimés (Sera *et al.*, 2002).

Contrairement à la synesthésie Graphème-Genre, les synesthésies Graphème-Couleur et Forme des nombres semblent se mettre en place entre 5 et 8 ans, voire plus tardivement. En effet, le nombre total d'enfants considérés comme synesthètes est plutôt inférieur aux proportions observées dans la littérature scientifique. Le nombre d'associations fixes de ces enfants semblent augmenter. De plus la représentation spatiale de la séquence numérique des enfants potentiellement synesthètes Forme des nombres paraît se complexifier entre la Grande Section et le CE1. Il serait possible que les associations synesthésiques Graphème-Couleur et Forme des nombres ne soient pas encore fixes et donc pas encore visibles. La faiblesse des résultats laisse même penser que ces deux types de synesthésie se développeraient en général plus tardivement.

On aurait donc la synesthésie graphème-Genre qui serait déjà pleinement exprimée dans la tranche d'âge étudiée ici et qui devrait avoir tendance à disparaître pour certains dans les années suivantes, contrairement aux synesthésies Graphème-Couleur et Graphème-Genre qui seraient au début de leur développement.

Mais les différences de trajectoires développementales pourraient aussi être dues au fait que les enfants ne développent pas les capacités liées à ces différentes formes de synesthésie aux mêmes âges.

Au vu de l'augmentation du nombre de synesthètes avec le niveau scolaire et le manque de constance des associations des synesthésies Forme des nombres et Graphème-Couleur, bien que l'enfant connaisse les chiffres et les nombres, au moins dans le dernier niveau scolaire testé, on peut considérer que ces deux types de synesthésie ne soient pas complètement liées à l'apprentissage des inducteurs en tant que tels. En revanche, la synesthésie pourrait se mettre majoritairement en place lors des apprentissages demandant une manipulation plus complexes (e.g. l'apprentissage des multiplications, des divisions dans le cadre de la synesthésie Forme

des nombres). Elle pourrait aussi être très proche du fonctionnement général de l'imagerie mentale (Price et Pearson, 2013), ou de la mémoire et de la mise en place des souvenirs (Yon et Press, 2014), et alors être un souvenir associatif fort et conscient. En effet, l'imagerie mentale semble se développer à partir de 7 ans et la vivacité de ces images augmenterait vers 8-9 ans (Isaac et Marks, 1994), ce qui expliquerait le nombre plus importants de synesthètes potentiels en CE1 (où l'enfant a entre 7 et 8 ans).

Les enfants connaissent la différence entre masculin et du féminin depuis plus longtemps que les lettres et les nombres ; les enfants connaissent bien les genres grammaticaux des mots depuis qu'ils ont entre 3 et 4 ans (Sera *et al.*, 2002) et auraient acquis complètement le concept de genre vers 7 ans (Harris et Butterworth, 2007a). De même, ils dénommeraient correctement les couleurs vers 3-4 ans (Pitchford et Mullen, 2005). Pourtant il serait possible que la synesthésie Graphème-Genre soit plus établie que les deux autres entre 5 et 8 ans. Il serait alors intéressant d'étudier la synesthésie Graphème-Personnalité dans son ensemble pour avoir une comparaison plus équilibrée avec les deux autres formes de synesthésie étudiées, et s'assurer que ce ne soit pas le caractère binaire du concurrent de la synesthésie Graphème-Genre qui lui permettrait d'être plus développée à ces âges, et plus fréquente que les autres, si cette différence était avérée.

Si le nombre élevé de synesthètes potentiels Graphème-Genre et leur forte constance est due à des stratégies lexicales, et que cette synesthésie est en fait aussi peu développée que les deux autres, il est possible de considérer que le nombre de récurrences demandées pour consolider le souvenir de manière suffisante à avoir une expérience synesthésique ne soit pas encore atteint à l'âge testé pour aucune des trois synesthésies testées.

12.5 Perspectives : synesthésie et pédagogie

L'observation de l'alphabet coloré de P_{474} peut éclairer ces différentes hypothèses. On observe dans l'alphabet coloré de cette enfant l'influence directe d'une méthode de lecture illustrée. Cette technique d'apprentissage, *La planète des Alphas* (Huguenin et Dubois, 2004 ; cf. Figure 10.6(a) page 261) a été développée dans les années 2000 pour enseigner la lecture à des enfants qui avaient d'import-

tantes difficultés dans ce domaine. Elle s'appuie sur un outil ludique : les lettres sont les personnages d'un conte. Chaque *Alpha* a la forme et le son de la lettre qu'il représente. Cette technique se décline dans différents médias : des livres, des dessins animés, des lettres en plastique. La méthode suit un ordre précis ; l'enfant est d'abord guidé dans la mise en place d'une conscience phonémique et des correspondances entre l'oral et l'écrit, entre les phonèmes et les graphèmes, avant d'aborder les correspondances grapho-phonémiques plus compliquées. Cette méthode est destinée aux enfants pré-lecteurs et en première année d'apprentissage, soit en grande section de maternelle et au CP en France.

Les traces de cette méthode d'apprentissage dans les associations synesthésiques pourraient alors appuyer les hypothèses considérant soit que la synesthésie se développe comme un appui aux apprentissages soit que la synesthésie se développe en se basant sur le fonctionnement général de la mémoire et de l'association (dans ce cas, ce serait plus l'utilisation répétée de la méthode qui formerait les associations). Dans une future expérience, il serait alors intéressant d'examiner les associations Lettre-Couleur et Lettre-Personnalité des enfants de classes de GS qui utilisent cette méthode, et de les suivre en CP et dans les niveaux scolaires supérieurs afin d'interroger plus en détail le lien entre apprentissage, mémoire, capacité associative et synesthésie.

Si les synesthètes ont moins de difficulté que les autres enfants dans l'acquisition des lettres, la méthode *La planète des Alphas* (ou des méthodes comparables) mériterait d'être précisée, développée et appliquée à d'autres types d'apprentissages, comme celui des chiffres. Dans le cadre de cette thèse portant sur les origines et les mécanismes de la synesthésie, nous n'avons pas pu interroger les moyens mis en place par les enseignants pour aider l'enfant dans l'acquisition de l'écriture et de la lecture, et nous n'avons pas pu non plus envisager nous-même l'exploitation proprement pédagogique de ces résultats. Mais il serait évidemment très important de procéder à des recherches spécifiques pour voir comment le suivi des acquisitions pourrait fournir aux enseignants des outils nouveaux susceptibles d'aider pratiquement l'enfant dans ses apprentissages, que cet enfant soit ou non en difficulté.

Conclusion

Dans ce travail de thèse, nous nous sommes intéressés à la prévalence de la synesthésie chez l'enfant et aux liens que cette particularité pourrait avoir avec l'apprentissage. Nous avons testé la synesthésie par l'intermédiaire de la constance et de la conscience des associations entre graphèmes et couleurs, graphèmes et genre, et entre nombre et position spatiale, en interrogeant 797 enfants entre 5 et 8 ans, dans leur classe.

Nous avons mis en avant les difficultés méthodologiques de l'étude d'une telle particularité dans cette tranche d'âge. Une telle question mériterait d'être réitérée avec une population tout aussi grande, mais avec des passations plus individualisées et en se concentrant peut être alors sur une seule forme de synesthésie à la fois. Un suivi plus important des compétences des enfants, ainsi que de l'évolution de leurs associations, permettrait d'affiner les réflexions concernant cette particularité et son développement en lien avec l'apprentissage.

Pour l'heure, nos résultats ne permettent pas d'attester de l'existence des synesthésies Graphème-Couleur, Graphème-Genre et Forme des nombres chez l'enfant entre 5 et 8 ans, telles qu'elles sont décrites chez l'adulte. Certains indices nous permettent cependant de penser que si la synesthésie existe dans cette tranche d'âge, alors :

- le nombre d'enfants synesthètes Graphème-Couleur et Forme des nombres est moins important que le nombre d'adultes synesthètes.
- la synesthésie ne semble se développer véritablement qu'à partir du CE1, voire plus tard encore.
- la synesthésie Graphème-Genre pourrait être plus précoce et plus répandue chez les enfants que chez les adultes ; nous avons cependant des raisons sérieuses de douter de la validité de ce dernier résultat.

Les deux premières observations, si elles devaient se confirmer, nous permettraient d'écarter certaines hypothèses concernant le lien entre apprentissage et dévelop-

pement de la synesthésie. Par exemple, certains (Hupé, 2012; Maurer *et al.*, 2013) ont fait l'hypothèse que les couleurs synesthésiques étaient associées aux chiffres et aux lettres avant même l'apprentissage de la lecture. Les caractères alphanumériques sont en effet très présents dans l'environnement de l'enfant sans qu'il en comprenne la signification. Les enfants pourraient imaginer des stratégies cognitives pour donner du sens à ces stimuli, stratégies prenant l'aspect de couleurs, de forme ou de genre ; ce serait une façon de les organiser et de les retenir. Ces stratégies cognitives enfantines, peut-être présentes chez tous les enfants, disparaîtraient lors de l'apprentissage de la lecture, sauf chez les synesthètes. Si tel était le cas, nous aurions dû observer un nombre plus grand de synesthètes en Grande Section de Maternelle, classe où les enfants apprennent à écrire la grande majorité des lettres, que dans les classes suivantes, et ce nombre aurait dû être au moins aussi grand que celui observé chez les adultes.

Nos résultats seraient plus en faveur de trois hypothèses, elles-mêmes non contradictoires : la synesthésie pourrait se développer avec les apprentissages plus complexes demandant des connaissances et des manipulations plus poussées de l'inducteur (ici lettres ou nombres). Elle pourrait aussi être liée à la mémoire associative (Yon et Press, 2014) et demanderait donc un nombre important de répétitions pour que des associations deviennent synesthésiques. Enfin, la synesthésie pourrait aussi être liée au développement de l'imagerie mentale (Price, 2014), qui semble continuer à se développer après les âges testés dans cette thèse.

Liste des résumés

La recherche visuelle « parallèle » ou « sérielle » , *page 7*

La tâche de Stroop, *page 12*

En résumé, *page 25*

En résumé, *page 38*

Rappel de la section 1.1.3, *page 47*

Rappel de la section 1.1.3, *page 60*

L'effet SNARC d'après la revue de Wood *et al.*, 2008, *page 65*

L'effet d'indigage, les nombres comme indice pour détourner l'attention spatiale, *page 68*

L'imagerie mentale, *page 75*

En résumé, *page 78*

En résumé, *page 108*

En résumé, *page 115*

L'effet de distance chez l'adulte, *page 118*

En résumé, *page 126*

En résumé, *page 135*

En résumé, *page 143*

En résumé, *page 185*

Rappel : le critère statistique de sélection des enfants considérés comme synesthètes

Graphème-Couleur, *page 198*

Rappel : critère statistique de sélection des enfants considérés comme synesthètes

Graphème-Genre, *page 222*

Rappel : Les différents niveaux permettant la catégorisation d'un enfant comme synesthète
Forme des nombres, *page 234*

En résumé, *page 244*

En résumé, *page 250*

En résumé, *page 254*

En résumé, *page 267*

Rappel de l'étude de Simner et collaborateurs (2005), *page 278*

En résumé, *page 287*

Bibliographie

- AMIN, M., OLU-LAFE, O., CLAESSEN, L. E., SOBCHAK-EDMANS, M., WARD, J., WILLIAMS, A. L. et SAGIV, N. (2011). Understanding grapheme personification : a social synaesthesia? *Journal of neuropsychology*, 5(2):255–82.
- ANDERSON, H. P. et WARD, J. (2015). Principle component analyses of questionnaires measuring individual differences in synaesthetic phenomenology. *Consciousness and Cognition*, 33:316–324.
- ASANO, M. et YOKOSAWA, K. (2012). Synesthetic colors for Japanese late acquired graphemes. *Consciousness and Cognition*, 21(2):983–993.
- ASANO, M. et YOKOSAWA, K. (2013). Grapheme learning and grapheme-color synesthesia : toward a comprehensive model of grapheme-color association. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7:1–11.
- ASHER, J. E., AITKEN, M., FAROOQI, N., KURMANI, S. et BARON-COHEN, S. (2006). Diagnosing and Phenotyping Visual Synaesthesia : a Preliminary Evaluation of the Revised Test of Genuineness (TOG-R). *Cortex*, 42(2):137–146.
- ASHER, J. E. et CARMICHAEL, D. A. (2013). The genetics and inheritance of synesthesia. In SIMNER, J. et HUBBARD, E. M., éditeurs : *The Oxford handbook of synesthesia*, chapitre 2, pages 23–45. Oxford University Press, Oxford.
- ASHER, J. E., LAMB, J. A., BROCKLEBANK, D., CAZIER, J.-B., MAESTRINI, E., ADDIS, L., SEN, M., BARON-COHEN, S. et MONACO, A. P. (2009). A whole-genome scan and fine-mapping linkage study of auditory-visual synesthesia reveals evidence of linkage to chromosomes 2q24, 5q33, 6p12, and 12p12. *American journal of human genetics*, 84(2):279–85.
- BÄCHTOLD, D., BAUMÜLLER, M. et BRUGGER, P. (1998). Stimulus-response compatibility in representational space. *Neuropsychologia*, 36(8):731–735.
- BARNETT, K. J., FINUCANE, C., ASHER, J. E., BARGARY, G., CORVIN, A. P., NEWELL, F. N. et MITCHELL, K. J. (2008). Familial patterns and the origins of individual differences in synaesthesia. *Cognition*, 106(2):871–93.
- BARON-COHEN, S. (1996). Is there a normal phase of synaesthesia in development. *Psyche*, 2(27):223–228.
- BARON-COHEN, S., BURT, L., SMITH-LAITTAN, F., HARRISON, J. et BOLTON, P.

- (1996). Synaesthesia : Prevalence and familiarity. *Perception*, 25(9):1073–1079.
- BARON-COHEN, S., WYK, M. A. et BINNIE, C. (1987). Hearing words and seeing colours : an experimental investigation of a case of synaesthesia. *Perception*, 16(6):761–767.
- BATTIG, W. F. et MONTAGUE, W. E. (1969). Category norms of verbal items in 56 categories A replication and extension of the Connecticut category norms. *Journal of Experimental Psychology*, 80(3, Pt.2):1–46.
- BEAR, M. F., CONNORS, B. W. et PARADISO, M. A. (2007). Œil et vision. In BEAR, M. F., CONNORS, B. W. et PARADISO, M. A., éditeurs : *Neurosciences à la découverte du cerveau*, chapitre 9, pages 278–309. Edition Pradel, Rueil-Malmaison, 7e édition.
- BEELI, G., ESSLEN, M. et JÄNCKE, L. (2007). Frequency correlates in grapheme-color synaesthesia. *Psychological science : a journal of the American Psychological Society / APS*, 18:788–792.
- BENOIT, L., LEHALLE, H. et JOUEN, F. (2004). Do young children acquire number words through subitizing or counting? *Cognitive Development*, 19(3):291–307.
- BERCH, D. B., FOLEY, E. J., HILL, R. J. et RYAN, P. M. (1999). Extracting parity and magnitude from Arabic numerals : developmental changes in number processing and mental representation. *Journal of experimental child psychology*, 74(4):286–308.
- BERLIN, B. et KAY, P. (1969). *Basic color terms : Their universality and evolution*. Berkeley, CA : University of California Press, Berkeley.
- BIOT-CHEVRIER, C. (2007). *Le développement de la connaissance des lettres dans la littéracie émergente*. Thèse de doctorat, Université Lumière Lyon 2.
- BLAJENKOVA, O., KOZHEVNIKOV, M. et MOTES, M. A. (2006). Object-spatial imagery : A new self-report imagery questionnaire. *Applied Cognitive Psychology*, 20(2):239–263.
- BLAKE, R., PALMERI, T. J., MAROIS, R. et KIM, C.-Y. (2005). On the perceptual reality of synesthetic color. In ROBERTSON, L. C. et SAGIV, N., éditeurs : *Synaesthesia : Perspectives from Cognitive Neuroscience*, pages 47–73. Oxford university press, Oxford.
- BOR, D., ROTHEN, N., SCHWARTZMAN, D. J., CLAYTON, S. et SETH, A. K. (2014). Adults Can Be Trained to Acquire Synesthetic Experiences. *Scientific Reports*,

- 4:7089.
- BORNSTEIN, M. H. (2006). Hue categorization and color naming : physics to sensation to perception. In BIGGAM, C. P., KAY, C. et PITCHFORD, N. J., éditeurs : *Progress in Colour Studies : Volume II. Psychological aspects*, chapitre 3, pages 35–69. John Benjamins Publishing, Philadelphia.
- BORODITSKY, L., SCHMIDT, L. A. et PHILLIPS, W. (2003). Sex, syntax, and semantics. *Language in mind : Advances in the study of language and thought*, pages 61–79.
- BOSLEY, H. et EAGLEMAN, D. M. (2015). Synesthesia in twins : Incomplete concordance in monozygotes suggests extragenic factors. *Behavioural Brain Research*.
- BOUCHIÈRE, B., PONCE, C. et FOULIN, J.-N. (2010). Développement de la connaissance des lettres capitales. Étude transversale chez les enfants français de trois à six ans. *Psychologie Française*, 55(2):65–89.
- BOUVET, L., DONNADIEU, S., VALDOIS, S., CARON, C., DAWSON, M. et MOTTRON, L. (2014). Veridical mapping in savant abilities, absolute pitch, and synesthesia : an autism case study. *Frontiers in psychology*, 5:106.
- BRANDAO DE CARVLHO, J., NGUYEN, N. et WAUQUIER, S. (2010). *Comprendre la phonologie*. Presses Universitaires de France, Paris.
- BRANG, D., GHAM, M. et RAMACHANDRAN, V. S. (2013). Impaired acquisition of novel grapheme-color correspondences in synesthesia. *Frontiers in human neuroscience*, 7:717.
- BRANG, D., ROUW, R., RAMACHANDRAN, V. S. et COULSON, S. (2011). Similarly shaped letters evoke similar colors in grapheme-color synesthesia. *Neuropsychologia*, 49(5):1355–8.
- BUTTERWORTH, G. et JARRETT, N. (1991). What minds have in common is space : Spatial mechanisms serving joint visual attention in infancy. *British Journal of Developmental Psychology*, 9(1):55–72.
- CALKINS, M. W. (1893). A Statistical Study of Pseudo-Chromesthesia and of Mental-Forms. *The American Journal of Psychology*, 5(4):439.
- CALKINS, M. W. (1895). Synaesthesia. *The American Journal of Psychology*, 7(1):90.
- CAMORS, D. (2015). *Vision périphérique, caractérisation et suppléance de ses*

- fonctions spatiales*. Thèse de doctorat, Université Toulouse 3 Paul Sabatier.
- CARMICHAEL, D. A., DOWN, M., SHILLCOCK, R., EAGLEMAN, D. M. et SIMNER, J. (2015). Validating a standardised test battery for synesthesia : Does the Synesthesia Battery reliably detect synesthesia? *Consciousness and Cognition*, 33:375–385.
- CHAZOULE, G. (2012). *Représentations analogiques et représentations symboliques des quantités. Leurs relations entre quatre et six ans*. Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II.
- CHUN, C. A. et HUPÉ, J.-M. (2013). Mirror-touch and ticker tape experiences in synesthesia. *Frontiers in psychology*, 4:776.
- COLIZOLI, O., MURRE, J. M. J. et ROUW, R. (2012). Pseudo-synesthesia through reading books with colored letters. *PloS one*, 7(6):1–10.
- COLIZOLI, O., MURRE, J. M. J. et ROUW, R. (2014). Defining (trained) grapheme-color synesthesia. *Frontiers in human neuroscience*, 8(368):368.
- CYTOWIC, R. E. (1995). Synesthesia : Phenomenology and neuropsychology. In BARON-COHEN, S. et HARRISON, J. E., éditeurs : *Synaesthesia : classic and contemporary readings*, pages 17–39. Blackwell, Oxford.
- CYTOWIC, R. E. (2002a). *Synesthesia, A Union of the Senses*. MIT Press, Cambridge.
- CYTOWIC, R. E. (2002b). Touching tastes, seeing smells-and shaking up brain science. *Cerebrum*, 4(3):7–26.
- DAY, S. A. (2005). Some demographic and socio-cultural aspects of synesthesia. In ROBERTSON, C. et SAGIV, N., éditeurs : *Synesthesia : perspectives from cognitive neuroscience*, chapitre 2, pages 11–33. Oxford University Press, New York.
- DAY, S. A. (2014). Types of synesthesia.
- de l'éducation NATIONALE, M. (2015). Tableaux de progression des apprentissages à l'école maternelle. Rapport technique, Ministère de l'éducation nationale.
- DEHAENE, S., BOSSINI, S. et GIRAUX, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology : General*, 122(3):371–396.
- DEHAENE, S., IZARD, V., SPELKE, E. et PICA, P. (2008). Log or Linear ? Distinct Intuitions of the Number Scale in Western and Amazonian Indigene Cultures. *Science*, 320(5880):1217–1220.

- DEROY, O. et SPENCE, C. (2013a). Are we all born synaesthetic? Examining the neonatal synaesthesia hypothesis. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 37(7):1240–53.
- DEROY, O. et SPENCE, C. (2013b). Why we are not all synesthetes (not even weakly so). *Psychonomic bulletin & review*, 20(4):643–64.
- DIONNE-DOSTIE, E., PAQUETTE, N., LASSONDE, M. et GALLAGHER, A. (2015). Multisensory Integration and Child Neurodevelopment. *Brain Sciences*, 5(1):32–57.
- DIXON, M. J., SMILEK, D., CUDAHY, C. et MERIKLE, P. M. (2000). Five plus two equals yellow. *Nature*, 406(6794):365.
- DIXON, M. J., SMILEK, D., DUFFY, P., ZANNA, M. et MERIKLE, P. M. (2006). The Role of Meaning in Grapheme-Colour Synaesthesia. *Cortex*, 42(2):243–252.
- DIXON, M. J., SMILEK, D. et MERIKLE, P. M. (2004). Not all synaesthetes are created equal : Projector versus associator synaesthetes. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 4(3):335–343.
- DOBKINS, K. R., ANDERSON, C. M. et KELLY, J. (2001). Development of psychophysically-derived detection contours in L- and M-cone contrast space. *Vision Research*, 41(14):1791–1807.
- DONAHUE, E. M. (1994). Do Children Use the Big Five, Too? Content and Structural Form In Personality Description. *Journal of Personality*, 62(1):45–66.
- DUGUÉ, L. (2013). *Attentional and perceptual cycles : investigations using psychophysics, electroencephalography and transcranial magnetic stimulations*. Thèse de doctorat, Université Toulouse 3 Paul Sabatier.
- EAGLEMAN, D. M. (2009). The objectification of overlearned sequences : A new view of spatial sequence synesthesia. *Cortex*, 45(10):1266–1277.
- EAGLEMAN, D. M. (2012). Synaesthesia in its protean guises. *British journal of psychology (London, England : 1953)*, 103(1):16–19.
- EAGLEMAN, D. M. et GOODALE, M. A. (2009). Why color synesthesia involves more than color. *Trends in cognitive sciences*, 13(7):288–92.
- EAGLEMAN, D. M., KAGAN, A. D., NELSON, S. S., SAGARAM, D. et SARMA, A. K. (2007). A standardized test battery for the study of synesthesia. *Journal of neuroscience methods*, 159(1):139–45.
- ECALLE, J., BIOT-CHEVRIER, C. et MAGNAN, A. (2008). Alphabet knowledge

- and early literacy skills in French beginning readers. *European Journal of Developmental Psychology*, 5(3):303–325.
- ECALLE, J. et MAGNAN, A. (2003). Précurseurs et prédicteurs de réussite dans l'apprentissage de la lecture. In ECALLE, J. et MAGNAN, A., éditeurs : *L'apprentissage de la lecture*, chapitre 2, pages 65–116. Armand Colin, Paris.
- ECALLE, J. et MAGNAN, A. (2015). Les connaissances précoces implicites et explicites. In ECALLE, J. et MAGNAN, A., éditeurs : *L'apprentissage de la lecture et ses difficultés*, chapitre 1, pages 9–62. Dunod, Paris, 2 édition.
- ECALLE, J., MAGNAN, A. et BIOT-CHEVRIER, C. (2009). Analyse de l'évolution des connaissances alphabétiques précoces et de leur poids en identification de mots écrits : une étude longitudinale de la GS au CP. In MAREC-BRETON, N., BESSE, A.-S., DE LA HAYE, F., BONNETON-BOTTÉ, N. et BONJOUR, E., éditeurs : *L'apprentissage de la langue écrite*, chapitre 1, pages 23–32. Presses Universitaires de Rennes, Rennes.
- EDQUIST, J., RICH, A. N., BRINKMAN, C. et MATTINGLEY, J. B. (2006). Do synaesthetic colours act as unique features in visual search? *Cortex*, 42(2):222–231.
- ELIAS, L. J., SAUCIER, D. M., HARDIE, C. et SARTY, G. E. (2003). Dissociating semantic and perceptual components of synaesthesia : behavioural and functional neuroanatomical investigations. *Cognitive Brain Research*, 16(2):232–237.
- ENGEL, A. K., FRIES, P. et SINGER, W. (2001). Dynamic predictions : Oscillations and synchrony in top-down processing. *Nature Reviews Neuroscience*, 2(10):704–716.
- FAYOL, M. (2015a). Introduction. In FAYOL, M., éditeur : *L'acquisition du nombre*, pages 3–18. Presses Universitaires de France, Paris, 2 édition.
- FAYOL, M. (2015b). Quantifier. In FAYOL, M., éditeur : *L'acquisition du nombre*, chapitre 2, pages 40–73. Presses Universitaires de France, Paris, 2 édition.
- FAYOL, M. (2015c). Représenter et manipuler symboliquement les quantités : les codes. In FAYOL, M., éditeur : *L'acquisition du nombre*, chapitre 1, pages 19–40. Presses Universitaires de France, Paris, 2 édition.
- FAYOL, M., CAMOS, V. et ROUSSEL, J.-L. (2000). Acquisition et mise en œuvre de la numération par les enfants de 2 à 9 ans. In PESENTI, M. et SERON, X., éditeurs : *Neuropsychologie des troubles du calcul et du traitement des nombres*,

- chapitre 2, pages 33–58. Solal, Marseille.
- FISCHER, M. H., CASTEL, A. D., DODD, M. D. et PRATT, J. (2003). Perceiving numbers causes spatial shifts of attention. *Nature neuroscience*, 6(6):555–556.
- FLOURNOY, T. (1893). *Des phénomènes de synopsis (audition colorée) photismes, schèmes visuels, personnifications*. Alcan, Paris.
- FOULIN, J.-N. (2007). La connaissance des lettres chez les prélecteurs : aspects pronostiques, fonctionnels et diagnostiques. *Psychologie Française*, 52(4):431–444.
- FRANKLIN, A., CLIFFORD, A., WILLIAMSON, E. et DAVIES, I. (2005). Color term knowledge does not affect categorical perception of color in toddlers. *Journal of Experimental Child Psychology*, 90(2):114–141.
- FRANKLIN, A. et DAVIES, I. R. L. (2006). Converging evidence for pre-linguistic colour categorization. In PITCHFORD, N. J. et BIGGAM, C. P., éditeurs : *Progress in Colour Studies : Volume II. Psychological aspects*, pages 101–120. John Benjamins Publishing Company, Philadelphia.
- GALTON, F. (1880). Visualised Numerals. *Nature*, 21(533):252–256.
- GALTON, F. (1883). *Inquiries into human faculty and its development*. Macmillan, London.
- GARNIER, M.-M. (2012). *Production et perception d'un contraste atypique : étude articulatoire et comportementale*. Master thesis, Université Lumière Lyon 2.
- GÉRARD, C., BILINSKI, K. et DUGAS, M. (1989). Développement du lexique des couleurs chez l'enfant. *L'Année psychologique*, 89(1):49–61.
- GERTNER, L., HENIK, A. et KADOSH, R. C. (2009). When 9 is not on the right : Implications from number-form synesthesia. *Consciousness and Cognition*, 18(2):366–374.
- GHERI, C., CHOPPING, S. et MORGAN, M. J. (2008). Synaesthetic colours do not camouflage form in visual search. *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society*, 275(1636):841–846.
- GINSBERG, L. (1923). A Case of Synaesthesia. *The American Journal of Psychology*, 34(4):582.
- GJERSOE, N. L., HALL, E. L. et HOOD, B. (2015). Children attribute mental lives to toys when they are emotionally attached to them. *Cognitive Development*, 34:28–38.

- GLEITMAN, H., REISBERG, D. et GROSS, J. (2007). Perception. In GLEITMAN, H., REISBERG, D. et GROSS, J., éditeurs : *Psychology*, chapitre 5, pages 154–191. W.W. Norton & Company, New York, 7 édition.
- GNEPP, J. et CHILAMKURTI, C. (1988). Children's Use of Personality Attributions to Predict Other People's Emotional and Behavioral Reactions. *Child Development*, 59(3):743.
- GOLDSTEIN, E. B. (1999). Perceptual development. In GOLDSTEIN, E. B., éditeur : *Sensation & perception*, chapitre 16, pages 469–514. Brooks/Cole Publishing Company, Pacific Grove, 5 édition.
- GRAVEN, S. N. et BROWNE, J. V. (2008). Visual Development in the Human Fetus, Infant, and Young Child. *Newborn and Infant Nursing Reviews*, 8(4):194–201.
- GREEN, J. A. K. et GOSWAMI, U. (2008). Synesthesia and number cognition in children. *Cognition*, 106(1):463–73.
- GREVISSE, M. (1959). *Le bon usage, Grammaire française avec des remarques sur la langue française d'aujourd'hui*. Paul Geuthner, Paris, 7 édition.
- GROSSENBACHER, P. G. (1997). Perception and Sensory Information in Synaesthetic experience. In BARON-COHEN, S. et HARRISON, J., éditeurs : *Synaesthesia : Classic and contemporary readings*, chapitre 9, pages 148–172. Blackwell, Cambridge.
- GROSSENBACHER, P. G. et LOVELACE, C. T. (2001). Mechanisms of synesthesia : cognitive and physiological constraints. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(1):36–41.
- HANCOCK, P. (2006). Monozygotic Twins' Colour-Number Association : a Case Study. *Cortex*, 42(2):147–150.
- HANCOCK, P. (2013). Synesthesia, alphabet, books and fridge magnets. In SIMNER, J. et HUBBARD, E. M., éditeurs : *The Oxford handbook of synesthesia*, chapitre 5, pages 83–99. Oxford University Press, Oxford.
- HARRIS, M. et BUTTERWORTH, G. (2007a). Early social development. In HARRIS, M. et BUTTERWORTH, G., éditeurs : *Developmental psychology : a student's handbook*, chapitre 6, pages 120–142. Psychology Press, New York, 4 édition.
- HARRIS, M. et BUTTERWORTH, G. (2007b). Social development in preschool years. In HARRIS, M. et BUTTERWORTH, G., éditeurs : *Developmental psychology : a student's handbook*, chapitre 10, pages 210–229. Psychology Press, New York, 4

édition.

- HAVLIK, A. M., CARMICHAEL, D. A. et SIMNER, J. (2015). Do sequence-space synaesthetes have better spatial imagery skills? Yes, but there are individual differences. *Cognitive Processing*.
- HELAL, S. (2012). *La connaissance des lettres à l'école maternelle et ses déterminants*. Thèse de doctorat, Université d'Angers.
- HILLAIRET DE BOISFERON, A., COLÉ, P. et GENTAZ, É. (2010). Connaissance du nom et du son des lettres, habiletés métaphonémiques et capacités de décodage en grande section de maternelle. *Psychologie Française*, 55(2):91–111.
- HOCHÉL, M. et GOMEZ MILAN, E. (2008). *Synaesthesia : Senses without Borders*. Thèse de doctorat, Universidad de Granada, Granada.
- HOLLINGSWORTH, H. L. et WEISCHER, V. (1939). Persistent alphabetical synthesis. *American Journal of Psychology*, 52:361–366.
- HOUDÉ, O. (2007). Le nombre et la catégorisation. In *La psychologie de l'enfant*, chapitre 3, pages 55–86. Presses Universitaires de France, Paris, 2 édition.
- HUBBARD, E. M. (2013). Synesthesia and functional imaging. In SIMNER, J. et HUBBARD, E. M., éditeurs : *The Oxford handbook of synesthesia*, chapitre 24, pages 475–499. Oxford University Press, Oxford.
- HUBBARD, E. M., BRANG, D. et RAMACHANDRAN, V. S. (2011). The cross-activation theory at 10. *Journal of neuropsychology*, 5(2):152–77.
- HUBBARD, E. M. et RAMACHANDRAN, V. S. (2005). Neurocognitive mechanisms of synesthesia. *Neuron*, 48(3):509–20.
- HUBBARD, E. M., RANZINI, M., PIAZZA, M. et DEHAENE, S. (2009). What information is critical to elicit interference in number-form synaesthesia? *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*, 45(10):1200–16.
- HUGUENIN, C. et DUBOIS, O. (2004). *La planète des Alphas*. Genève.
- HUPÉ, J.-M. (2012). Synesthesia as a neuronal palimpsest. *Médecine/sciences*, 28(8-9):765–71.
- HUPÉ, J.-M., BORDIER, C. et DOJAT, M. (2012). The neural bases of grapheme-color synesthesia are not localized in real color-sensitive areas. *Cerebral cortex*, 22(7):1622–33.
- HUPÉ, J.-M. et DOJAT, M. (2015). A critical review of the neuroimaging literature on synesthesia. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9:103.

- ISAAC, A. R. et MARKS, D. F. (1994). Individual differences in mental imagery experience : Developmental changes and specialization. *British journal of psychology*, 85:479–500.
- IZARD, V. et DEHAENE, S. (2008). Calibrating the mental number line. *Cognition*, 106(3):1221–47.
- JARICK, M., DIXON, M. J., MAXWELL, E. C., NICHOLLS, M. E. et SMILEK, D. (2009). The ups and downs (and lefts and rights) of synaesthetic number forms : Validation from spatial cueing and SNARC-type tasks. *Cortex*, 45(10):1190–1199.
- JARICK, M., DIXON, M. J. et SMILEK, D. (2011). 9 is Always on top : Assessing the automaticity of synaesthetic number-forms. *Brain and Cognition*, 77(1):96–105.
- JEWANSKI, J., SIMNER, J., DAY, S. A. et WARD, J. (2011). The development of a scientific understanding of synesthesia from early case studies (1849-1873). *Journal of the history of the neurosciences*, 20(4):284–305.
- JOHNSON, D., ALLISON, C. et BARON-COHEN, S. (2013). The prevalence of synesthesia, The consistency revolution. In SIMNER, J. et HUBBARD, E. M., éditeurs : *Oxford Handbook of Synesthesia*, chapitre 1, pages 3–23. Oxford University Press, Oxford.
- JOHNSON, M. H. (2001). Functional brain development in humans. *Nature Reviews Neuroscience*, 2(7):475–83.
- JOHNSON, M. H. (2003). Development of human brain functions. *Biological Psychiatry*, 54(12):1312–1316.
- JONAS, C. N. et JARICK, M. (2013). Synesthesia, sequences, and space. In SIMNER, J. et HUBBARD, E. M., éditeurs : *The oxford Handbook of synesthesia*, chapitre 7, pages 123–148. Oxford University Press, Oxford.
- JRAISSATI, Y. (2009). *Couleur, culture et cognition : examen épistémologique de la théorie des termes basiques*. Thèse de doctorat, Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales (EHESS).
- JÜRGENS, U. M. et NIKOLIĆ, D. (2012). Ideaesthesia : Conceptual processes assign similar colours to similar shapes. *Translational Neuroscience*, 3(1):22–27.
- JUSTICE, L. M., PENCE, K., BOWLES, R. B. et WIGGINS, A. (2006). An investigation of four hypotheses concerning the order by which 4-year-old children learn the alphabet letters. *Early Childhood Research Quarterly*, 21(3):374–389.

- KAY, P. (2002). Color categories are not arbitrary. *Cross-Cultural Research*, 2(10):44–44.
- KIM, C.-Y., BLAKE, R. et PALMERI, T. J. (2006). Perceptual Interaction Between Real and Synesthetic Colors. *Cortex*, 42(2):195–203.
- KUSNIR, F. et THUT, G. (2012). Formation of automatic letter-colour associations in non-synaesthetes through likelihood manipulation of letter-colour pairings. *Neuropsychologia*, 50(14):3641–52.
- LE MANER-IDRISSI, G. (1997). *L'identité sexuée*. Dunod, Paris.
- LEROY-BOUSSION, A. (1967). L'apprentissage de la lecture chez les jeunes enfants : acquisition des lettres de l'alphabet et maturité mentale. *Enfance*, 20(1):27–55.
- LÉTÉ, B., SPRENGER-CHAROLLES, L. et COLÉ, P. (2004). MANULEX : A grade-level lexical database from French elementary school readers. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 36(1):156–166.
- LEWIS, T. L. et MAURER, D. (2005). Multiple sensitive periods in human visual development : evidence from visually deprived children. *Developmental psychobiology*, 46(3):163–83.
- LEWKOWICZ, D. J. et MINAR, N. J. (2014). Infants are not sensitive to synesthetic cross-modality correspondences : a comment on Walker et al. (2010). *Psychological science*, 25(3):832–4.
- LEWKOWICZ, D. J. et RÖDER, B. (2012). Development of multisensory processing and the role of early experience. In STEIN, B. E., éditeur : *The New Handbook of Multisensory Processes*, chapitre 34, pages 607–626. Mit press édition.
- LOWRY, R. (2015). VassarStats : Statistical Computation Website.
- MACLEOD, C. M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect : An integrative review. *Psychological Bulletin*, 109(2):163–203.
- MACLEOD, C. M. et DUNBAR, K. (1988). Training and Stroop-like interference : Evidence for a continuum of automaticity. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 14(1):126–135.
- MAGNAN, A., LÉONARD, F. et AIMAR, J.-B. (1995). Le passage de traitements picturaux aux traitements scripturaux dans la reconnaissance des mots écrits. *Enfance*, 1:37–52.
- MATHÔT, S., SCHREIJ, D. et THEEUWES, J. (2012). OpenSesame : an open-source, graphical experiment builder for the social sciences. *Behavior research methods*,

- 44(2):314–24.
- MATTINGLEY, J. B. (2009). Attention, Automaticity, and Awareness in Synesthesia. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1156(1):141–167.
- MATTINGLEY, J. B., RICH, A. N., YELLAND, G. et BRADSHAW, J. L. (2001). Unconscious priming eliminates automatic binding of colour and alphanumeric form in synaesthesia. *Nature*, 410(6828):580–2.
- MAURER, D., GIBSON, L. C. et SPECTOR, F. (2013). Synesthesia in infants and very young children. In SIMNER, J. et HUBBARD, E. M., éditeurs : *Oxford Handbook of Synesthesia*, chapitre 3, pages 46–63. Oxford University Press, Oxford.
- MAURER, D. et MAURER, C. (1988). *The world of the newborn*. Basic Books, New York, us : basic édition.
- MAURER, D. et MONDLOCH, C. J. (2005). Neonatal Synesthesia : a reevaluation. In ROBERTSON, L. C. et SAGIV, N., éditeurs : *Synaesthesia : Perspectives from Cognitive Neuroscience*, pages 193–213. Oxford University Press, Oxford.
- MAURER, D., PATHMAN, T. et MONDLOCH, C. J. (2006). The shape of boudas : sound-shape correspondences in toddlers and adults. *Developmental Science*, 9(3):316–322.
- MEAD, M. (2001). *Moeurs et sexualité en Océanie*. POCKET, Paris, 2 édition.
- MEIER, B. (2014). Semantic representation of synaesthesia. *Theoria et Historia Scientiarum*, 10:125–134.
- MEIER, B. et ROTHEN, N. (2009). Training grapheme-colour associations produces a synaesthetic Stroop effect, but not a conditioned synaesthetic response. *Neuropsychologia*, 47(4):1208–1211.
- MELERO, H., PEÑA-MELIÁN, A. et RÍOS-LAGO, M. (2015). ¿Colores, sabores, números ? : la sinestesia en una muestra española. *Revista de Neurología*, 60:145–150.
- MILLS, C. B., BOTELER, E. H. et OLIVER, G. K. (1999). Digit Synaesthesia : A Case Study Using A Stroop-Type Test. *Cognitive Neuropsychology*, 16(2):181–191.
- MILLS, C. B., VIGUERS, M. L., EDELSON, S. K., THOMAS, A. T., SIMON-DACK, S. L. et INNIS, J. A. (2002). The color of two alphabets for a multilingual synesthete. *Perception*, 31(11):1371–1394.
- MITCHELL, K. J. (2013). Synesthesia and cortical connectivity, a neurodevelop-

- mental perspective. In SIMNER, J., éditeur : *The Oxford handbook of synesthesia*, chapitre 27, pages 530–557. Oxford University Press, Oxford.
- MOYER, R. S. et LANDAUER, T. K. (1967). Time required for Judgements of Numerical Inequality. *Nature*, 215(5109):1519–1520.
- MROZKO, A., METZINGER, T., SINGER, W. et NIKOLIĆ, D. (2009). Immediate transfer of synesthesia to a novel inducer. *Journal of vision*, 9(12):25.1–8.
- NAVON, D. (1977). Forest before trees : The precedence of global features in visual perception. *Cognitive Psychology*, 9(3):353–383.
- NEW, B., PALLIER, C., FERRAND, L. et MATOS, R. (2001). Une base de données lexicales du français contemporain sur internet : LEXIQUETM//A lexical database for contemporary french : LEXIQUETM. *L'Année Psychologique*, 101:447–162.
- NIKOLIĆ, D., LICHTI, P. et SINGER, W. (2007). Color opponency in synaesthetic experiences. *Psychological science*, 18(6):481–6.
- NOËL, M.-P. (2013). Le développement numérique. In BLAYE, A. et LEMAIRE, P., éditeurs : *Psychologie du développement cognitif de l'enfant*, chapitre 6, pages 159–186. De Boeck, Bruxelles, 2 édition.
- NOVICH, S., CHENG, S. et EAGLEMAN, D. M. (2011). Is synaesthesia one condition or many ? A large-scale analysis reveals subgroups. *Journal of neuropsychology*, 5(2):353–71.
- PALMERI, T. J., BLAKE, R., MAROIS, R., FLANERY, M. A. et WHETSELL, W. (2002). The perceptual reality of synesthetic colors. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(6):4127–31.
- PATRICK, G. (1893). Number-forms. *Popular Science Monthly*, XLII:504–514.
- PEABODY, C. (1915). Certain Further Experiments in Synaesthesia. *American Anthropologist*, 17(1):143–155.
- PEARSON, J. et KOSSLYN, S. M. (2015). The heterogeneity of mental representation : Ending the imagery debate. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(33):10089–10092.
- PELLAT, J.-C. (1988). Indépendance ou interaction de l'écrit et de l'oral ? Recensement critique des définitions du graphème. In CATACH, N., éditeur : *Pour une Théorie de la Langue Ecrite (Table ronde internationale CNRS/SHES, Paris, 23-24 oct. 1986)*, pages 133–146, Paris.

- PHILLIPS, D. E. (1897). Genesis of Number-Forms. *The American Journal of Psychology*, 8(4):506.
- PIAGET, J. et SZEMINSKA, A. (1967). *La genèse du nombre chez l'enfant*. Delachaux et Niestlé, Neuchâtel, 4 édition.
- PIAZZA, M., PINEL, P. et DEHAENE, S. (2006). Objective correlates of an unusual subjective experience : A single-case study of number-form synaesthesia. *Cognitive neuropsychology*, 23(8):1162–73.
- PITCHFORD, N. J. et MULLEN, K. T. (2002). Is the acquisition of basic-colour terms in young children constrained? *Perception*, 31(11):1349–1370.
- PITCHFORD, N. J. et MULLEN, K. T. (2005). The role of perception, language, and preference in the developmental acquisition of basic color terms. *Journal of experimental child psychology*, 90(4):275–302.
- POSNER, M. I. et COHEN, Y. (1984). Components of visual orienting. *Attention and performance X : Control of language processes*, 32:531–556.
- PRICE, M. C. (2009a). Spatial forms and mental imagery. *Cortex*, 45(10):1229–1245.
- PRICE, M. C. (2009b). What kind of mental images are spatial forms? *Cognitive Processing*, 10(S2):276–278.
- PRICE, M. C. (2013). Synesthesia, imagery, and performance. In SIMNER, J. et HUBBARD, E. M., éditeurs : *The Oxford handbook of synesthesia*, chapitre 37, pages 728–757. Oxford University Press, Oxford.
- PRICE, M. C. (2014). Insights from introspection : a commentary on Gould et al. (2014), "An extended case study on the phenomenology of spatial form synaesthesia". *Frontiers in human neuroscience*, 8(439):439.
- PRICE, M. C. et MATTINGLEY, J. B. (2013). Automaticity in sequence-space synaesthesia : A critical appraisal of the evidence. *Cortex*, 49(5):1165–1186.
- PRICE, M. C. et MENTZONI, R. A. (2008). Where is January? The month-SNARC effect in sequence-form synaesthetes. *Cortex*, 44(7):890–907.
- PRICE, M. C. et PEARSON, D. G. (2013). Toward a visuospatial developmental account of sequence-space synesthesia. *Frontiers in human neuroscience*, 7:689.
- RAMACHANDRAN, V. S. et AZOULAI, S. (2006). Synesthetically induced colors evoke apparent-motion perception. *Perception*, 35(11):1557–1560.
- RAMACHANDRAN, V. S. et HUBBARD, E. M. (2001a). Psychophysical investiga-

- tions into the neural basis of synaesthesia. *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society*, 268(1470):979–83.
- RAMACHANDRAN, V. S. et HUBBARD, E. M. (2001b). Synaesthesia - A window into perception, thought and language. *Journal of Consciousness Studies*, 12(8): 3–34.
- RAMACHANDRAN, V. S. et HUBBARD, E. M. (2003). The phenomenology of synaesthesia. *Journal of Consciousness Studies*, 10(8):49–57.
- RICH, A. N., BRADSHAW, J. L. et MATTINGLEY, J. B. (2005). A systematic, large-scale study of synaesthesia : implications for the role of early experience in lexical-colour associations. *Cognition*, 98(1):53–84.
- RICH, A. N. et KARSTOFT, K.-I. (2013). Exploring the benefit of synaesthetic colours : testing for "pop-out" in individuals with grapheme-colour synaesthesia. *Cognitive neuropsychology*, 30(2):110–25.
- RICH, A. N. et MATTINGLEY, J. B. (2002). Anomalous perception in synaesthesia : a cognitive neuroscience perspective. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(1):43–52.
- ROBERSON, D., DAVIES, I. et DAVIDOFF, J. (2000). Color categories are not universal : replications and new evidence from a stone-age culture. *Journal of experimental psychology. General*, 129(3):369–398.
- ROBERTSON, L. C. et SAGIV, N. (2004). *Synesthesia : Perspectives from cognitive neuroscience*. Oxford University Press, USA, New York.
- ROGERS, T. T., GRAHAM, K. S. et PATTERSON, K. (2015). Semantic impairment disrupts perception, memory, and naming of secondary but not primary colours. *Neuropsychologia*, 70:296–308.
- ROSE, K. B. (1909). Some Statistics on Synaesthesia. *The American Journal of Psychology*, 20(3):447.
- ROTHEN, N. et MEIER, B. (2014). Acquiring synaesthesia : insights from training studies. *Frontiers in human neuroscience*, 8:109.
- ROTHEN, N., TSAKANIKOS, E., MEIER, B. et WARD, J. (2013). Coloured Letters and Numbers (CLaN) : A reliable factor-analysis based synaesthesia questionnaire. *Consciousness and Cognition*, 22:1047–1060.
- ROUW, R. et SCHOLTE, H. S. (2007). Increased structural connectivity in grapheme-color synesthesia. *Nature neuroscience*, 10(6):792–7.
- RUIZ, M. J. (2014). *Codage cortical de la synesthésie Graphème-Couleur*. Thèse

- de doctorat, Université de Grenoble.
- RUIZ, M. J. et HUPÉ, J.-M. (2015). Assessment of the Hemispheric Lateralization of Grapheme-Color Synesthesia with Stroop-Type Tests. *PLOS ONE*, 10(3): e0119377.
- SAGIV, N., SIMNER, J., COLLINS, J., BUTTERWORTH, B. et WARD, J. (2006). What is the relationship between synaesthesia and visuo-spatial number forms? *Cognition*, 101(1):114–28.
- SERA, M. D., ELIEFF, C., FORBES, J., BURCH, M. C., RODRÍGUEZ, W. et DUBOIS, D. P. (2002). When language affects cognition and when it does not : An analysis of grammatical gender and classification. *Journal of Experimental Psychology : General*, 131(3):377–397.
- SERON, X., PESENTI, M., NOËL, M. P., DELOCHE, G. et CORNET, J. (1992). Images of numbers, or “When 98 is upper left and 6 sky blue”. *Cognition*, 44:159–196.
- SHEPARD, R. N. et METZLER, J. (1971). Mental Rotation of Three-Dimensional Objects. *Science*, 171:701–703.
- SIMNER, J. (2006). Beyond perception : synaesthesia as a psycholinguistic phenomenon. *Trends in cognitive sciences*, 11(1):23–29.
- SIMNER, J. (2009). Synaesthetic visuo-spatial forms : viewing sequences in space. *Cortex*, 45(10):1138–1147.
- SIMNER, J. (2012a). Defining synaesthesia. *British journal of psychology*, 103(1):1–15.
- SIMNER, J. (2012b). Defining synaesthesia : a response to two excellent commentaries. *British journal of psychology (London, England : 1953)*, 103(1):24–7.
- SIMNER, J. (2013a). The "rules" of synesthesia. In SIMNER, J. et HUBBARD, E. M., éditeurs : *The Oxford handbook of synesthesia*, chapitre 8, pages 149–164. Oxford university press, Oxford.
- SIMNER, J. (2013b). Why are there different types of synesthete? *Frontiers in psychology*, 4:558.
- SIMNER, J. et BAIN, A. E. (2013). A longitudinal study of grapheme-color synesthesia in childhood : 6/7 years to 10/11 years. *Frontiers in human neuroscience*, 7:603.
- SIMNER, J. et CARMICHAEL, D. A. (2015). Is synaesthesia a dominantly female

- trait? *Cognitive Neuroscience*, pages 1–9.
- SIMNER, J., GÄRTNER, O. et TAYLOR, M. D. (2011a). Cross-modal personality attributions in synaesthetes and non-synaesthetes. *Journal of Neuropsychology*, 5:283–301.
- SIMNER, J., GLOVER, L. et MOWAT, A. (2006a). Linguistic determinants of word colouring in grapheme-colour synaesthesia. *Cortex*, 42:281–289.
- SIMNER, J., HARROLD, J., CREED, H., MONRO, L. et FOULKES, L. (2009a). Early detection of markers for synaesthesia in childhood populations. *Brain*, 132(1): 57–64.
- SIMNER, J. et HOLENSTEIN, E. (2007). Ordinal linguistic personification as a variant of synesthesia. *Journal of cognitive neuroscience*, 19(4):694–703.
- SIMNER, J. et HUBBARD, E. M. (2006). Variants of synesthesia interact in cognitive tasks : evidence for implicit associations and late connectivity in cross-talk theories. *Neuroscience*, 143(3):805–14.
- SIMNER, J. et HUBBARD, E. M. (2013). Synesthesia in school-aged children. In SIMNER, J. et HUBBARD, E. M., éditeurs : *The Oxford Handbook of Synesthesia*, chapitre 4, pages 64–82. Oxford University Press, Oxford.
- SIMNER, J., HUNG, W.-Y. et SHILLCOCK, R. (2011b). Synaesthesia in a logographic language : the colouring of Chinese characters and Pinyin/Bopomo spellings. *Consciousness and cognition*, 20(4):1376–92.
- SIMNER, J., MAYO, N. et SPILLER, M.-J. (2009b). A foundation for savantism? Visuo-spatial synaesthetes present with cognitive benefits. *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*, 45(10):1246–1260.
- SIMNER, J., MULVENNA, C. M., SAGIV, N., TSAKANIKOS, E., WITHERBY, S. A., FRASER, C., SCOTT, K. et WARD, J. (2006b). Synaesthesia : The prevalence of atypical cross-modal experiences. *Perception*, 35(8):1024–1033.
- SIMNER, J. et WARD, J. (2008). Synaesthesia, Color Terms, and Color Space : Color Claims Came From Color Names in Beeli, Esslen, and Jäncke (2007). *Psychological Science*, 19(4):412–414.
- SIMNER, J., WARD, J., LANZ, M., JANSARI, A., NOONAN, K., GLOVER, L. et OAKLEY, D. A. (2005). Non-random associations of graphemes to colours in synaesthetic and non-synaesthetic populations. *Cognitive neuropsychology*, 22(8):1069–85.

- SMILEK, D., DIXON, M. J., CUDAHY, C. et MERIKLE, P. M. (2001). Synaesthetic photisms influence visual perception. *Journal of cognitive neuroscience*, 13(7): 930–6.
- SMILEK, D., DIXON, M. J. et MERIKLE, P. M. (2005). Synaesthesia : Discordant male monozygotic twins. *Neurocase*, 11(5):363–370.
- SMILEK, D., MALCOLMSON, K. A., CARRIERE, J. S. A., ELLER, M., KWAN, D. et REYNOLDS, M. (2007). When "3" is a jerk and "E" is a king : personifying inanimate objects in synesthesia. *Journal of cognitive neuroscience*, 19(6):981–92.
- SMILEK, D., MOFFATT, B. A., PASTERNAK, J., WHITE, B. N., DIXON, M. J. D. et MERIKLE, P. M. (2002). Synaesthesia : A Case Study of Discordant Monozygotic Twins. *Neurocase*, 8(4):338–342.
- SOBCZAK-EDMANS, M. (2013). *A systematic study of personification in synaesthesia : behavioural and neuroimaging studies*. Thèse de doctorat, Brunel university London.
- SOBCZAK-EDMANS, M. et SAGIV, N. (2013). Synesthetic personification : the social world of graphemes. In SIMNER, J. et HUBBARD, E. M., éditeurs : *The Oxford handbook of synesthesia*, chapitre 12, pages 222–238. Oxford University Press, Oxford.
- SPECTOR, F. et MAURER, D. (2008). The colour of Os : Naturally biased associations between shape and colour. *Perception*, 37(6):841–847.
- SPECTOR, F. et MAURER, D. (2009). Synesthesia : a new approach to understanding the development of perception. *Developmental psychology*, 45(1):175–89.
- SPECTOR, F. et MAURER, D. (2011). The colors of the alphabet : naturally-biased associations between shape and color. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 37(2):484–95.
- STOUGHTON, C. M. et CONWAY, B. R. (2008). Neural basis for unique hues. *Current Biology*, 18(16):698–699.
- STROOP, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6):643–662.
- THOMAS, M. S. et JOHNSON, M. H. (2008). New Advances in Understanding Sensitive Periods in Brain Development. *Current Directions in Psychological Science*, 17(1):1–5.

- THOMMEN, E. (2013). Le développement des théories de l'esprit. In BLAYE, A. et LEMAIRE, P., éditeurs : *Psychologie du développement cognitif de l'enfant*, chapitre 3, pages 66–94. De Boeck, Bruxelles, 2 édition.
- TOMSON, S. N., AVIDAN, N., LEE, K., SARMA, A. K., TUSHE, R., MILEWICZ, D. M., BRAY, M., LEAL, S. M. et 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(1):48–52.
- TOMSON, S. N., AVIDAN, N., LEE, K., SARMA, A. K., TUSHE, R., MILEWICZ, D. M., BRAY, M., LEAL, S. M. et EAGLEMAN, D. M. (2013). Corrigendum to “The genetics of colored sequence synesthesia : Suggestive evidence of linkage to 16q and genetic heterogeneity for the condition” [Behav. Brain Res. 223 (2011) 48–52]. *Behavioural Brain Research*, 243:322.
- TREISMAN, A. M. et GELADE, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12(1):97–136.
- VAN CAMPEN, C. (2014). The Discovery of Synesthesia in Childhood. *Theoria et Historia Scientiarum*, 10:195.
- WAGNER, K. et DOBKINS, K. R. (2011). Synaesthetic associations decrease during infancy. *Psychological science*, 22(8):1067–72.
- WALKER, P., BREMNER, J. G., MASON, U., SPRING, J., MATTOCK, K., SLATER, A. et JOHNSON, S. P. (2010). Preverbal infants' sensitivity to synaesthetic cross-modality correspondences. *Psychological science*, 21(1):21–5.
- WARD, J., HUCKSTEP, B. et TSAKANIKOS, E. (2006). Sound-Colour Synaesthesia : to What Extent Does it Use Cross-Modal Mechanisms Common to us All? *Cortex*, 42(2):264–280.
- WARD, J., LI, R., SALIH, S. et SAGIV, N. (2007). Varieties of grapheme-colour synaesthesia : a new theory of phenomenological and behavioural differences. *Consciousness and cognition*, 16(4):913–31.
- WARD, J. et MATTINGLEY, J. B. (2006). Synaesthesia : an Overview of Contemporary Findings and Controversies. *Cortex*, 42(2):129–136.
- WARD, J. et SIMNER, J. (2003). Lexical-gustatory synaesthesia : linguistic and conceptual factors. *Cognition*, 89(3):237–261.
- WARD, J. et SIMNER, J. (2005). Is synaesthesia an X-linked dominant trait with lethality in males? *Perception*, 34(5):611–623.

- WATSON, M. R., AKINS, K. A. et CRAWFORD, L. (2010). The developmental learning hypothesis of synaesthesia - A Summary. *Studie z aplikovane lingvistiky/Studies in Applied Linguistics.*, 1:1–16.
- WATSON, M. R., AKINS, K. A., SPIKER, C., CRAWFORD, L. et ENNS, J. T. (2014). Synesthesia and learning : a critical review and novel theory. *Frontiers in human neuroscience*, 8:98.
- WATSON, M. R., HUM, B. et PHIL, M. (2013). *Synaesthesia and learning a bidirectional relationship*. Thèse de doctorat, University of British Columbia, Vancouver.
- WITTHOFT, N. et WINAWER, J. (2006). Synesthetic Colors Determined by Having Colored Refrigerator Magnets in Childhood. *Cortex*, 42(2):175–183.
- WITTHOFT, N. et WINAWER, J. (2013). Learning, memory, and synesthesia. *Psychological science*, 24(3):258–65.
- WITTHOFT, N., WINAWER, J. et EAGLEMAN, D. M. (2015). Prevalence of Learned Grapheme-Color Pairings in a Large Online Sample of Synesthetes. *PLOS ONE*, 10:1–10.
- WITZEL, C. et GEGENFURTNER, K. R. (2013). Categorical sensitivity to color differences. *Journal of Vision*, 13(7):1–33.
- WOOD, G., WILLMES, K., NUERK, H.-C. et FISCHER, M. H. (2008). On the cognitive link between space and number : a meta-analysis of the SNARC effect. *Psychology Science Quarterly*, 4:489–525.
- WUERGER, S. M., ATKINSON, P. et CROPPER, S. (2005). The cone inputs to the unique-hue mechanisms. *Vision Research*, 45(25-26):3210–3223.
- WYNN, K. (1992). Children's acquisition of the number words and the counting system. *Cognitive Psychology*, 24(2):220–251.
- YON, D. et PRESS, C. (2014). Back to the future : synaesthesia could be due to associative learning. *Frontiers in psychology*, 5:702.

La synesthésie chez l'enfant : aspects développementaux et cognitifs

« A noir, E blanc, I rouge, U vert, O bleu : voyelles ». Si pour la majeure partie de la population ce premier vers du poème de Rimbaud n'est qu'une vision poétique, pour 3 à 4% des adultes il fera écho à un vécu. Cette minorité, les synesthètes, ont en effet la particularité lors de la présence de certains stimuli (e.g. la lettre I), d'associer une expérience supplémentaire (e.g. la couleur rouge). Cette expérience supplémentaire peut, comme dans notre exemple, venir de la même modalité sensorielle (e.g. la vision), mais aussi impliquer un autre sens (e.g. l'audition colorée). Si de plus en plus d'études s'intéressent à la synesthésie, très peu se sont penchées sur son développement en étudiant directement cette condition chez l'enfant. L'objectif de cette thèse était de mieux comprendre cette particularité, et plus particulièrement son développement à travers trois types de synesthésies : Graphème-Couleur, Graphème-Personnalité (dont nous n'avons pu mesurer qu'une forme simple : l'association d'un genre aux lettres et aux chiffres) et la représentation des nombres dans l'espace (synesthésie "Forme des nombres"). Si la synesthésie Graphème-Couleur a déjà été étudiée chez l'enfant (mais seulement dans la population anglo-saxonne) les deux autres n'ont jamais fait l'objet d'étude développementale auparavant.

Les productions graphiques (sous forme de trois exercices, un pour chaque synesthésie étudiée) de 797 enfants de dernière année de maternelle et des deux premières années de primaire (CP et CE1) ont été recueillies à un temps T puis par surprise deux à trois semaines. Pour les synesthésies Graphème-Couleur et Graphème-Personnalité, sont considérés comme synesthètes les enfants dont le nombre d'associations (lettre/chiffre-couleur ou lettre/chiffre-genre) similaires entre T et T2 est supérieur à la chance. Pour la synesthésie Forme des nombres, l'enfant est considéré comme synesthète si la représentation de la séquence numérique est similaire en T et T2 (exception faite des nombres rangés de façon conventionnelle : en ligne de gauche à droite). Pour tester l'hypothèse d'un continuum entre les synesthètes et la population générale, nous avons aussi étudié les associations d'enfants non synesthètes. Nous avons mis en avant les difficultés méthodologiques de l'étude de la synesthésie chez les enfants entre 5 et 8 ans. Nos résultats ne nous permettent pas d'attester de façon certaine l'existence de la synesthésie dans cette tranche d'âge. Mais nous avons observé une augmentation du nombre de synesthètes potentiels par niveau scolaire, et un niveau de constance bas de leurs associations par rapport à ce qui est observé chez l'adulte. Comme les enfants connaissent bien les lettres et les nombres, du moins en CE1, on peut penser que ces synesthésies ne sont pas seulement liées à l'apprentissage de l'inducteur en tant que tel. Mais elles pourraient se développer en parallèle d'apprentissages complexes (comme le calcul ou la rédaction), ou en suivant le développement de la mémoire et de l'imagerie mentale.

Mots clés : synesthésie, apprentissages, enfant, développement, associations cross-modales.

Synaesthesia in children : developmental and cognitive aspects

"B has the tone called Burnt Sienna by painters"; "M is a fold of pink flannel". If for most of the population these descriptions by Vladimir Nabokov only suggest a poetic vision, for 3% or 4% of adults it will remind them of their own experience. In fact this minority, the synaesthetes, have the peculiarity when certain stimuli are presented (e.g. the letter B) of associating a supplementary experience (e.g. a shade of red). This supplementary experience can, as in our example, come for the same sensory modality (e.g. vision) but can also involve other senses (e.g. coloured audition). If an increasing number of studies is interested in synaesthesia, only a handful of them looked at how it develops by studying it directly in children. The aim of this thesis was to better understand synaesthesia, and more particularly its development through three types: Grapheme–Colour, Grapheme–Personality (We could only measure a simple form: the association of gender to letters and numbers) and the spatial organisation of numbers ("Number-Line" synaesthesia). If the Grapheme–Colour synaesthesia has already been studied in children (but only in the Anglo-Saxon population) the other two have never been the subject of a developmental study so far.

The graphical representations (for 3 exercises, one per studied synaesthesia) from 797 children from Kindergarten, 1st Grade, and 2nd Grade were collected twice: once at time T1 and then two or three weeks later with a surprise test (T2). For Grapheme–Colour and Grapheme–Personality synaesthesia, children are considered as synaesthetes if the number of similar associations (Letter/Number–Colour or Letter/Number–Gender) between T1 and T2 is superior to chance. For number-line synaesthesia, if the representation of the numerical sequence is similar between T1 and T2, the child is considered to be a synaesthete (except if the numbers are ordered in the conventional manner: in line from left to right). To test the hypothesis of a continuum between synaesthetes and the general population, we also studied the associations of non-synaesthete children. We reported the methodological problems specific to the study of synaesthesia in 5 to 8 years old children. We could not definitely attest the existence of synaesthesia in this age group. But we observed a growing number of potential synaesthetes in each grade, as well as a low consistency level of their associations in comparison with adults. Since children know well letters and numbers, at least in the 2nd grade, we can consider that these types of synaesthesia are not only linked to the acquisition of their inducers themselves. But they could develop during harder acquisitions (numeracy or literacy) or with the development of mental imagery and associative memory.

Keywords: Synaesthesia, learning, children, development, cross-modal associations.